

Anat.

155

79 (8)

Anat. 155th

Engel, J.

(8.)

UEBER
DIE GESETZE DER KNOCHEN-ENTWICKELUNG.

(MIT VIER TAFELN.)

VON
PROFESSOR JOSEPH ENGEL.

(Aus dem November - Hefte des Jahrganges 1851 der Sitzungsberichte der
mathematisch - naturwissenschaftlichen Classe der kais. Akademie der
Wissenschaften besonders abgedruckt.)

364 = B.

LEHRE

DIE GEGENSTÄNDE DER KUNST- UND WISSENSCHAFTEN

(MIT VIER TAFELN)



Wenn das Aufsuchen der Regeln der Structurverhältnisse an irgend einem thierischen Gebilde Aussicht auf Erfolg darzubieten vermag, so ist dies gewiss bei den Knochen der Fall. Nicht nur, dass die Knochenstrahlen zur Zeit des Aufbaues des Knochengerüsts mit überraschender Regelmässigkeit und Gleichförmigkeit sich einander fügen, wodurch z. B. die Scheitelknochen eben ein so zierliches Aussehen bald nach ihrer Entstehung darbieten: auch regelmässige Längen- oder Querschnitte, durch ganz ausgewachsene Knochen, durchs Mark oder die Rinde geführt, lassen an feiner und ordnungsvoller Architektonik nichts zu wünschen übrig. Untersuchungen, die ich Anfangs an Knochen über gewisse Form- und Grössenverhältnisse vornahm, führten mich zur Prüfung des mikroskopischen Baues und diese letztere hatte für mich bald so viel Reiz gewonnen, dass ich sie mit rastloser Thätigkeit fortführte; der Zufall begünstigte mich. Einige gelungene Präparate an Knorpeln und Knochen gaben mir den ersten leitenden Gedanken in der Untersuchung, die Berechnung auf der Grundlage von Thatsachen that das Uebrige, und so bin ich, jede Voraussetzung durch die Erfahrung streng beweisend, zu einem Abschlusse gekommen, und erlaube mir nun die gesammten Ergebnisse meinen Fachgenossen zur Prüfung vorzulegen.

Ich muss hier etwas weiter ausholen. Ich habe in meiner Abhandlung „Ueber das Wachsthumsgesetz thierischer Zellen“ das Gesetz aufgestellt, nach welchem sich die Verhältnisse des Kernes zu der ihn einschliessenden Zelle ordnen, und eben so war es mir gelungen, zwischen dem Kerne und seinem Kernkörper eine durch Zahlen ausdrückbare Beziehung aufzufinden. Das Wachsthumsgesetz der Kerne und Zellen hatte ich ganz allgemein durch die Formel $Z = n K - (n - 1) 0.5$ gegeben, wobei Z den grössten Durchmesser einer Zelle, K den grössten Durchmesser eines Kernes

in einem ihrer Hauptschnitte (diese Durchmesser in ganz zusammenfallender Richtung genommen) 0.5 der abgekürzte Ausdruck für 0.00005 P. Z. ist, n aber jede beliebige ganze Zahl über 1 bedeutet. Die Erfahrung lehrte mich, dass bei Knorpeln und Knochen dem Coëfficienten n der Werth 2 oder 3 , in selteneren Fällen auch 4 zukomme. Dieses Wachsthumsgesetz bildet den Ausgangspunkt für die zu Grunde gelegten Berechnungen und Voraussetzungen, und so wie dasselbe einerseits den Schlüssel für die Aufschliessung der Structurverhältnisse im Knochen enthält, so liegt in der Uebereinstimmung zwischen Voraussetzung und Thatsache eine weitere Begründung jenes Gesetzes, wenn es derselben nach der Menge des in der oben erwähnten Abhandlung aufgehäuften Materiales noch bedurft hätte. Aus jenem Gesetze nun hatte ich die mannigfachen Verhältnisse abgeleitet, welche die Kernstellung in den verschiedenen Fasern und thierischen Geweben überhaupt darbietet, und ich glaube es ist mir gelungen in der scheinbaren Ordnungslosigkeit eine durch Einfachheit grossartige Ordnung aufzudecken. Damals ahnte ich noch nicht, von welchem durchgreifenden Einflusse das Gesetz des Wachstums und der Kernstellung bei Knochen namentlich für die ganze Structur sein könne, obgleich ich die Stellung der Knochenkörper und ihre gegenseitigen Entfernungen bezüglich des oben erwähnten Gesetzes untersucht und bereits manche Erfahrungen gesammelt hatte, die mir bei meiner jetzigen Arbeit zu Gute kamen.

Die Aufgabe, welche Gegenstand der vorliegenden Abhandlung ist, knüpft sich unmittelbar an meine Untersuchungen über das Wachsthumsgesetz und die Kernstellung in thierischen Geweben an, erweitert diese, und füllt eine in denselben gelassene Lücke aus. Dort hatte ich nämlich nicht bloss die einzelnen Zellen, sondern auch ihre Combinationen zu den verschiedenen Gewebsfasern ausführlich erörtert: dagegen von den Knochen und Knorpeln nur in so ferne Erwähnung gethan, als nöthig war um über die Grössenverhältnisse der Kerne — Knochen- und Knorpelkörper — die nöthigen Andeutungen zu geben, dagegen war die Verbindung dieser Körper zu einem grösseren Ganzen, das ganze der Knochen- und Knorpelstructur noch völlig ausser Acht gelassen. Die gegenwärtige Abhandlung geht nun von den bekannten Verhältnissen der Gewebs-Elemente aus, untersucht deren Verbindungen

zu Systemen und verfolgt Schritt für Schritt auf der Grundlage bestätigter Voraussetzungen die Gesetze der Anordnung der Elemente bis zum gelungenen Ausbaue des Knochens.

Verfertigt man sich einen regelmässigen Querschnitt durch einen compacten Knochen, so erhält man namentlich an den Knochen des Neugeborenen ein oft ganz regelmässiges, nicht selten zierliches Bild. Am schönsten nehmen sich Querschnitte in der Mitte der Schenkelknochen Neugeborner aus; denn nicht nur ist das Verhältniss zwischen Mark und Rinde bei einer fast runden Form des Durchschnittees ein fast constantes und leicht zu ermittelndes sondern auch die Stellung der Markcanäle in der Rindensubstanz des Knochens ist eine derartige, dass sie regelmässige Durchschnitteesformen giebt, und daher zu Messungen sich besonders eignet.

Eine jedem Mikroskopiker bekannte Erscheinung ist die bestimmte Lagerung der Knochenkörper um einen Markcanal. Um den (runden) Querschnitt eines Markcanales erscheinen die Knochenkörper gewöhnlich in concentrischen Kreisen geordnet, und stellen ein zu einem Markcanale gehöriges System von Fasern oder Lamellen vor, das von nun an den Namen Marksystem führen wird. Die Regelmässigkeit dieser Anordnung, die Aehnlichkeit der Figuren des Durchschnitteeskreises des Markcanales mit der Peripherie des ganzen Marksystems laden am meisten zur Messung und Berechnung ein, und von hier hatte ich auch den Ausgangspunkt der ganzen Untersuchung gewählt. Ich bestimmte zuerst den Durchmesser der Höhle eines Markcanales, (man s. Fig. 24) dann den der Lage nach mit ihm zusammen fallenden Durchmesser des Marksystems und verglich die beiden gefundenen Grössen, in der Hoffnung eine Constante zu ermitteln, die mich zur Aufstellung eines Gesetzes führen könnte. Diese Constante war in einigen Fällen leicht zu finden; andere Fälle dagegen boten wenig erfreulichen Gewinn. Ich hatte für mehrere Fälle gefunden, dass wenn man den Durchmesser eines (regelmässig) runden Markcanales mit 3 multiplicirt und das Product um die angenommene Mass-Einheit (in allen meinen Messungen = 1 Zehntausendstel eines Pariser Zolles) vermehrt, man den Durchmesser des ganzen Marksystems erhält. Hiernach ergäbe sich folgende höchst einfache allgemeine Formel zur Bezeichnung der Grösse eines Marksystems $S=3M+1$ wo

S den Durchmesser des ganzen Systems, *M* aber den Durchmesser der Lichte des Markcanales bedeutet, 1 die zu Grunde liegende Mass-Einheit, in unserm Falle mithin Zehntausendstel eines Pariser Zolles darstellt. War sonach ein Markcana 15 Zehntausendstel P. Z. weit, so mass das Marksystem 16 Zehntausendstel P. Z., mass der Markraum 6, so betrug das Marksystem 19; bei 7, 22 u. s. f., so dass wenn die Markcanäle eine arithmetische Reihe mit der Differenz = 1 bilden, die dazu gehörigen Marksysteme eine arithmetische Reihe mit der Differenz 3 darstellen. Obiges Gesetz passte übrigens nur auf eine verhältnissmässig nicht bedeutende Menge von Fällen. Diese Fälle waren vor allen andern durch regelmässige Form ausgezeichnet, und stammten meistens aus der compacten Rindensubstanz der Extremitätsknochen; viele andere Fälle und namentlich die Mehrzahl der Marksubstanz liessen sich nicht unter jenes allgemeine Gesetz bringen und schienen auch sonst in der That jeder Gesetzmässigkeit zu entbehren. Hier gaben mir die Untersuchungen über den Ossificationsprocess bei Neugeborenen bald die Mittel an die Hand einem durch alle Ordnungen des Knochensystems durchgreifenden Bildungsgesetze für die Marksysteme und die Markräume auf die Spur zu kommen. Diese Untersuchungen werde ich nun im Folgenden ausführlicher darlegen; ich werde die Theorie, die einzig und allein in dem Gewirre des aufgehäuften Materials leiten kann, vorausschicken, und die Begründung derselben durch Thatsachen folgen lassen. Die Umständlichkeit, die ich bei der Angabe von Messungen auch hier beibehalten muss, wird darin ihren Grund und ihre Entschuldigung finden, wenn sie ja einer solchen bedarf, dass die Feststellung eines organischen Gesetzes nur auf dem Wege einer vollständigen Induction möglich ist.

Untersucht man bei Neugeborenen die noch knorpelichen Epiphysen z. B. an den Schenkelknochen, so wird eine gewisse Lagerung der Knorpelzellen bald die Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Trägt man nämlich die Knorpelschichten horizontal ab, bis man auf die bereits verknöcherte Schicht stösst, so entfaltet sich uns folgendes Bild: An den peripherischen Schichten liegen die Knorpelzellen einzeln, streichen entweder in mehreren parallelen Reihen oder drängen sich auch in beliebigen Richtungen durcheinander; in den tieferen Schichten dagegen ordnen sie sich mehr in Gruppen, die durch mehr minder grosse Räume von einander getrennt sind.

Diese Gruppen sind einfache, wenn bloss zwei bis drei Zellen in derselben sich vereinigen, oder sie sind zusammengesetzte, wenn kleinere Gruppen zu grösseren sich verbinden. Die einfachen Gruppen liegen mehr gegen die Oberfläche, die zusammengesetzten dagegen in der Tiefe und mithin näher der Ossificationsgrenze. Die Formen, welche alle diese Gruppen darstellen sind sehr verschieden, bald sind sie von der regelmässigsten Kreisform — und diese wird die Grundlage unserer Untersuchungen bilden — bald dagegen mehr von der Faserform, bald von jeder Zwischenform zwischen den benannten Beiden. Die kleinern Gruppen haben noch keine gemeinschaftliche Umhüllung, bei den grössern dagegen ist eine solche von grösserer oder geringerer Dicke vorhanden. — Doch verfolgen wir den Gang der Entwicklung Schritt für Schritt.

Das Stroma des ossificirenden Knorpels enthält, von lichten Höfen umschlossen, theils rundliche, theils gurkenkernartige, zuweilen wohl auch schwanzartig zugespitzte Kerne mit einem, zwei, oder bei den längeren selbst mit drei Kernkörperchen. Die Contouren des hellen Hofes folgen genau den Contouren des eingeschlossenen Kernes in einer, wie unten bewiesen werden soll, bestimmten Entfernung. Gegen das Stroma hin ist dieser lichte Hof bei frischen Knorpeln nicht immer scharf abgegrenzt (Fig. 1); ganz deutlich dagegen ist die Abgrenzung durch eine reine, wenngleich nur wenig gefärbte Linie bei Knorpeln, die einige Zeit in Weingeist gelegen haben, dann aber wieder, behufs der Untersuchung, in Wasser aufgeweicht worden waren. Dieser lichte, von einer einfachen feinen Contour umsäumte Hof, ist die Knorpelzelle. Der Kern ist anfangs scharf aber nicht sehr dunkel contourirt; bei weiterer Entwicklung erscheint er scharf und dunkel contourirt; anfangs farblos, erhält er später einen leichten Stich ins Gelbliche und bietet dann selten mehr eine ganz platte Oberfläche dar. Die Kernkörper erscheinen gewöhnlich als runde, fettglänzende Körper. Zwischen Zelle, dem farblosen Hofe und Kern besteht das Verhältniss $Z = n K - (n - 1) 0.00005$ wobei n gewöhnlich den Werth 2 oder 3, in seltenen Fällen nur 4 hat. Die Lage des Kernes in der Zelle ist häufig centralständig, doch giebt es auch polständige und andere excentrisch gelagerte Kerne. Ich werde mich zunächst mit den centralständigen Kernen beschäftigen.

Wenn nun zwei dieser Zellen zu einer Gruppe zusammen-treten, so geschieht dies in mehrfacher Weise. Die Zellen stossen mit ihren Polen aufeinander (Fig. 2) oder sie lagern sich mit ihren Seitenflächen einander gegenüber und dies wieder in verschiedener Art. Die Zellen berühren sich nur zur Hälfte oder zwei Drittheilen ihrer ganzen Länge (Fig. 3 und 4) oder endlich, sie stossen mit ihren Seitenflächen so aneinander, dass sie bei gleicher Grösse in einer vollkommen symmetrischen Lage zu beiden Seiten ihrer gemeinschaftlichen Tangente sich finden (Fig. 5), dabei hat jede der Zellen ihre ursprüngliche Gestalt noch beibehalten; an den Berührungsstellen sind die Contouren in eine einzige verschmolzen. Diese Gruppierungen werde ich, in Uebereinstimmung mit der in der früher citirten Abhandlung gebrauchten Bezeichnungsweise, Combinationen nennen und der letzten Art derselben den Namen regelmässige beilegen, weil aus keiner andern Combination mit gleicher Leichtigkeit und Regelmässigkeit die Entwicklung des Knochensystems abgeleitet werden kann. Diese Combination wird uns daher von nun an vor allen andern beschäftigen, sie ist die Grundlage aller weiteren Untersuchungen über diesen Gegenstand.

Der Art nach ist aber diese Combination wieder entweder eine gleichsinnige, doppelsinnige oder widersinnige. Von den gleichsinnigen Combinationen ist jene die häufigste, bei der die beiden combinirten Zellen genau centralständige Kerne tragen (Fig. 5); sie übertrifft an Regelmässigkeit und Eleganz jede andere Combination, aus ihr abstrahirte ich zuerst die Entwicklungsgesetze des Knochens; sie mag von nun an, um sie von allen übrigen Combinationen leicht zu unterscheiden, den Namen der *Urcombination* führen. Gleich den anderen Combinationen, hat sie als Wachsthumscoefficienten die Zahl 2, 3 oder 4.

Gleichsinnige Combinationen mit seitlich stehenden Kernen (etwa Fig. 6) habe ich nicht häufig gefunden, und sie sind jedenfalls nicht einer besonderen Ausbildung fähig.

Eben so selten sind doppelsinnige Combinationen (Fig. 7 und 8); sie müssen gut von einer im Allgemeinen unsymmetrischen Anordnung der Kerne unterschieden werden. Auch kommen widersinnige Combinationen, wenn auch nicht gar zu häufig, vor. Sie sind doppelter Art, entweder solche mit dem Maximo

oder solche mit dem Minimo der gegenseitigen Kerndistanz. Im ersteren Falle sind die beiden Kerne unmittelbar an der äusseren Contour anliegend, ihre gegenseitige Entfernung daher gleich der Breite beider Zellen minus der Breite beider Kerne (Fig. 9) im letzteren Falle dagegen sind die Kerne einander bis zur Berührung nahe gerückt (Fig. 10). Beide Arten von Combinationen kommen später noch zur Sprache.

Alle Combinationen, welche nicht zu einer der bezeichneten Typen gehören, heissen entweder *asymmetrische Combinationen*, wenn sie zwar regelmässig an einander lagern, aber ihre Kernstellung weder genau wand- noch centralständig erscheint (Fig. 14), oder sie heissen *verschobene Combinationen*, wenn die sie bildenden Zellen nicht mit der ganzen Länge der Seitenflächen, sondern anderswie an einander treten (Fig. 3 und 4). Sie sind nicht seltene Arten, können aber hier, wo es sich um die Ermittlung der Gesetze handelt, nicht weiter in Betracht kommen, da sie zu den verwickelteren Fällen gehören.

Ich wende mich wieder zu den *Urcombinationen* zurück. Diese Combinationen sind einfache, wenn nicht mehr als zwei Zellen mit einander in der geforderten, regelmässigen Weise sich verbinden. So viel sie mir auch vorkamen, waren sie immer des ersten Grades und auch meistens derselben Ordnung, d. h. im Sinne der von mir eingeführten Sprachweise Grundcombinationen. Ihre Grössenverhältnisse und Formveränderungen zu erforschen, wird nun meine Aufgabe sein.

Bei den jüngsten Combinationen dieser Art liegen, wie bereits oben bemerkt, die beiden Zellen mit genau centralständigem Kerne der ganzen Länge ihrer Seite nach aneinander. Dort, wo sie sich unmittelbar berühren, geht die doppelte Zellencontour in eine einfache über. Bei mehr vorgerückter Entwicklung geht von jedem Pole der einen Zelle zum gleichnamigen Pole der anderen Zelle eine feine Verbindungslinie (Fig. 12), wodurch die Combination als etwas nach allen Richtungen hin Abgeschlossenes erscheint. Weiter werden die anfangs krummen sich berührenden inneren Zellencontouren allmählich zu geraden Linien (Fig. 11), wodurch nun jede Zelle das Aussehen eines Halbkreises erhält (Fig. 13 und 14). Zugleich ändert sich die Form des Kernes. Ursprünglich einer mehr weniger langgestreckten Ellipse ähnlich,

nimmt auch er allmählich durch Abplattung seiner inneren Seite, die Form eines Kreis- oder Ellipsenabschnittes an, dessen sämtliche Contouren, mit jenen der umschliessenden Zelle parallel laufen. Oft ist an dem ursprünglichen Kerne eine Verschiedenheit seiner beiden Hälften, der äusseren und inneren unverkennbar. Die äussere Hälfte nämlich ist etwas dunkler und minder durchscheinend als die innere (Fig. 15). Bei einer weiteren Entwicklung sieht man von dem einen Pole eines Kernes zu dem gleichnamigen des anderen Kernes eine feine Verbindungscurve hinübertreten (Fig. 16), und da dies an den beiden Endpunkten geschieht, so zeigt nun die Combination zwei ganz parallellaufende in sich geschlossene krumme Linien von kreis- oder ellipsenähnlicher Form, von denen die innere unmittelbar die Fortsetzung der äusseren Contour beider Kerne ist. Von nun an schwindet fort und fort der beide Zellen noch trennende Zwischenstreif, und zwar von den Enden her gegen die Mitte, in welcher er noch lange, selbst bei den weiteren Metamorphosen der Combination, erkannt werden kann. Die beiden Zellen der Combination sind nun (Fig. 17) vollständig mit einander verschmolzen, nur ihre Kerne bleiben noch in der von Anfang her gegebenen Entfernung, und ändern diese nur nach gewissen, später zu entwickelnden Gesetzen.

An diese Veränderung schliesst sich später noch eine andere; es entsteht nämlich eine dritte, von der Innenwand des Kernes ausgehende, den beiden anderen Linien parallele Curve (Fig. 19, 20 und 21) und die Combination ist nun so weit gediehen, dass sie, den Querschnitt eines Markcanales darstellend, der Verknöcherung entgegengeht. Sie eignet sich nun besonders zur Bestimmung der relativen Grössen und Entfernungen, zu welchen ich auch, den Hergang bei dem Verknöcherungs-Acte für die folgenden Seiten verschiebend, übergehen werde.

Hierbei wird es nothwendig sein, nochmals auf das Entwicklungsgesetz der Zellen zurückzukommen. Je nachdem man in der Formel $Z = nK - (n - 1) 0.00005$ den Werth des Coëfficienten $n = 2, 3$, oder 4 setzt, wird die Breite der Zelle bei derselben Breite des Kernes eine verschiedene. Betrüge die Breite eines Kernes z. B. 3 (0.0003 P. Z.), so gäbe die Breite der Zelle für den Coëfficienten 2 nur 5.5 (0.00055 P. Z.), für den Coëfficienten

3 dagegen 8 (0.0008 P. Z.), für den Coëfficienten 4 sogar 11 (0.0011 P. Z.). Stossen beide Zellen an ihren Seiten ganz aneinander, so ist in ersterem Falle bei der Urcombination die Entfernung der inneren Ränder beider Kerne 2.5 (0.00025 P. Z.); im zweiten Falle dagegen 5 (0.0005 P. Z.); im dritten Falle 7.5 (0.00075 P. Z.). (Um einen zu grossen Zahlenaufwand zu vermeiden, werden von nun an durch die ganze Abhandlung hindurch die Zehntausendtheile eines Pariser Zolles als Masseinheit genommen und sonach durch ganze Zahlen, die Hunderttausendtheile aber durch Decimalen ausgedrückt.) Bleiben wir nun bei dem Coëfficienten 3 stehen, der nicht nur der häufigste von allen ist, sondern auch, wie sich gleich zeigen wird, die einfachsten Verhältnisse darbietet, so erhalten wir folgende Zahlen in dem oben angegebenen Falle: Die Distanz der inneren Ränder beider Kerne beträgt 5; die Dicke beider Kerne 6; die Entfernung der beiden äussersten Zellencontouren von den beiden äussersten Contouren beider Kerne beträgt wieder 5; die Breite beider Zellen 16, hieraus ergibt sich eine einfache Methode der Berechnung. Kennt man die innere Entfernung beider Kerne einer Urcombination, so ist für $n = 3$ die Breite der ganzen Combination das Dreifache dieser Entfernung plus der angenommenen Masseinheit. Oder durch eine allgemeine Formel ausgedrückt $S = 3M + 1$, wo S die Breite der ganzen Combination, M aber die Entfernung der inneren Ränder beider Kerne bedeutet. Sonach ist jene oben aufgestellte und bei der Untersuchung der Knochen unabhängig von jeder Theorie und von jeder Beobachtung an Knorpeln aufgefundene Formel in dem Entwicklungsgesetze der Zellen und Kerne begründet. Die in einer Knorpelcombination allmählich sich heranbildenden 3 concentrischen Kreise erhalten nun erst ihre volle Bedeutung. Es geht nämlich aus diesen Berechnungen auf das Unzweifelhafteste hervor, dass der innerste Kreis einer ausgebildeten Knorpelcombination (oder der zwischen den beiden Kernen gelegene Raum derselben) am fertigen Knochen als Markcanal erscheint, daher er von nun an selbst noch an der unvollendeten Knorpelcombination mit dem Namen „Markraum“ belegt werden soll. Die den Markraum umgebenden beiden anderen Ringe dagegen verknöchern und bilden an einem gelungenen Querschnitte das dem Markraume concentrisch verlau-

fende Knochen- oder Marksystem, das der Entwicklung aus dem Knorpel zufolge, wieder aus zwei Hauptabtheilungen (ungerechnet der kleineren Theile, die erst später besprochen werden) besteht, einem inneren den Markcanal unmittelbar umschliessenden, und im concentrischen Ringe, einer zweiten äusseren, gleichfalls concentrischen Zone. Der innere Ring entspricht (bei ganz normaler Entwicklung, von der hier immer die Rede ist) der ursprünglichen Lage und Breite der Kerne der Knorpelcombination; er heisse am ausgebildeten Knochen (in der Fig. 22 ist er heller gehalten als der äussere Ring) der Kernwall, der äussere Ring dagegen entspricht der den Kern nicht enthaltenden äusseren Partie der combinirten Knorpelzellen und wird am Knochen schlechtweg der äussere Wall genannt werden. Nicht immer ist übrigens am Marksystem des Knochens, wenn dieser ausgewachsen, die Abtheilung in zwei Ringe bemerkbar, und wo sie bemerkt werden kann hat sie zuweilen eine andere Bedeutung, von der später die Rede sein wird.

Es ist nun leicht, aus dem was über die Verhältnisse des Kernes zur Zelle gesagt worden ist, bei einer ganz regelmässigen Urcombination aus der bekannten Breite des Kernes die Breite des äusseren Walles und den Durchmesser oder den Halbmesser eines Markraumes zu bestimmen, und eben so wird an einem aus einer Urcombination hervorgegangenen Marksysteme eines ausgewachsenen Knochens aus der gegebenen Grösse des Markraumes die Breite des Kernwalles und die Breite des äusseren Knochenwalles mit der grössten Leichtigkeit bestimmt werden können.

Es sei, um dies an einem Beispiele deutlich zu machen, eine bestimmte Grösse einer Combination gewählt; die beiden in die Combination eingehenden Kerne haben eine Breite von 3, mithin jede der beiden Zellen eine Breite = 8, für den Coëfficienten $n = 3$. Bei genau centralständigem Kerne beträgt sonach der den Kern nach Innen sowohl, als auch nach Aussen überragende Zellentheil 2.5. Combinirt sich sonach eine solche Zelle mit einer zweiten gleich grossen und gleichgestalteten Knorpelzelle, so ist die Breite des dadurch entstandenen Markraumes = $5 (2 \times 2.5)$, die Breite des Kernwalles 3, die Breite des äusseren Walles 2.5. Misst man nun am Knochen das ganze Combinationssystem der Breite nach, so erhält man für den Markraum die Breite von 5,

für den Kernwall die doppelte Breite 6, für den äusseren Wall die doppelte Breite 5, und es ist sonach bei ausgewachsenen Knochen in dem Urmarksysteme (hervorgegangen aus einer Knorpel-Urcombination) der Durchmesser des ganzen Marksystems gleich dem Dreifachen des Durchmessers des Marklumens, plus der angenommenen Einheit. Die doppelte Breite des äusseren Knochenwalles ist gleich dem Durchmesser des Markraumes; die doppelte Breite des Kernwalles ist gleich dem Durchmesser des Markraumes plus der Einheit. Nimmt man daher an einem regelmässig quer geschnittenen Marksysteme zwei Durchmesser, die genau in dieselbe Richtung fallen, jenen des ganzen Systems und jenen des Markraumes, so ergiebt eine einfache Division des ersteren durch den zweiten, ob die Knorpelcombination eine regelmässige und eine Urcombination gewesen, aus der sich das Marksystem des Knochens gebildet hat.

Ich werde von nun an jene Marksysteme im Knochen, welche die angegebenen Durchmesserverhältnisse nach jeder Richtung darbieten, mit dem Namen „normales System“ belegen, nicht desswegen, weil bei der normalen Entwicklung der Knochen diese Systeme die einzigen oder auch nur die vorherrschenden sind, sondern weil sich bei ihnen die Verhältnisse am einfachsten gestalten. Es muss übrigens immer die Grösse des Wachsthums-Coëfficienten beigefügt werden, da auch für andere Coëfficienten als für 3, nämlich auch für 2 und 4 ähnliche, einfache Verhältnisse sich ergeben. Es sei mir erlaubt, auch diese Fälle durch Beispiele zu erläutern. Für den Kern 3 ist bei dem Coëfficienten 2 die Breite der einzelnen Zelle = 5·5, folglich das den Kern nach Innen und nach Aussen überragende Stück der Zelle je 1·25; hiernach ergiebt sich als Durchmesser des Markraumes 2·5, als doppelte Breite der Kernzone 6, als doppelte Breite der äusseren Zone 2·5, als Durchmesser der ganzen Combination 11·0. Daraus fliesst folgende ganz einfache Berechnung eines, durch eine nach diesem Systeme entstandene Combination hervorgegangenen Knochen-systems. Der Durchmesser des ganzen Marksystems beträgt das Vierfache des Durchmessers vom Markraume plus der Einheit oder $S = 4 M + 1$. Hat man sonach an irgend einem regelmässig quer geschnittenen Marksysteme dieses Durchmesser-Verhältniss gefunden, so erhält man die einzelnen Zonen in folgender Weise:

Das Doppelte des Durchmessers vom Markraume plus der Einheit ist die doppelte Breite des Kernwalles; der Breitendurchmesser des äusseren Walles ist gleich dem Halbmesser des Markraumes. Für den Wachstums-Coëfficienten 4 dagegen, gestalten sich die Verhältnisse nur in so ferne gleich einfach, wenn die Stellung des Kernes keine vollständig centrale, die Combination sonach keine Urcombination ist, sondern ein Zellenincrement von der Grösse $K - 0.5$ sich an der einen Seite, zwei andere Incremente aber gleichfalls von einer solchen Grösse, jedes an der andern Seite des Kernes liegen. Ein kurzes Nachrechnen reicht hin, zu zeigen, dass in einem solchen Falle, den Durchmesser des Markraumes als Einheit genommen, der Durchmesser des ganzen Systemes das Doppelte desselben plus der Einheit ist, dass es aber auch Fälle geben kann, bei denen der Durchmesser des Markraumes gleich ist dem halben Diameter des Marksystems minus 0.25.

So bieten schon diese höchst einfachen Verhältnisse der Urcombinationen in ihrer weiteren Durchführung eine grosse Mannigfaltigkeit dar, und sie allein schon würden hinreichen einen Unterschied in der Dichtigkeit der Knochenmasse zu begründen, wenn auch ausser ihnen keine andere Möglichkeit der Knochenbildung gegeben wäre. Der Knochen nämlich, dessen Canäle nach dem Coëfficienten 4 gebildet, zeigt weite Markcanäle, deren Wände nur halb so dick, als die Lumina weit sind; der Knochen ist mässig porös. Dickere Wände haben die Canäle mit dem Coëfficienten 3, am dicksten jene, deren Coëfficient 2 ist. Höhere Coëfficienten als diese giebt es nicht, wohl aber giebt es Verhältnisse, bei denen der Knochen noch compacter und andere, bei denen er noch spongiöser werden kann, als dies in dem ersten der angeführten Fälle möglich ist, ungeachtet auch kein kleinerer Wachstumscoëfficient als 2 aufgefunden werden kann. Diese Verhältnisse mögen später ihre Erörterung finden.

Die angegebenen Zahlenverhältnisse bleiben auch dann noch richtig, wenn die in eine Combination eingehenden Knorpelzellen nicht von gleicher Grösse sind, sondern sich um ein Beliebiges von einander unterscheiden. Als Regel gilt auch bei den Knorpelcombinationen, dass die Combinationen nur vom ersten Grade sind, d. h. dass nicht Kerne von beliebiger Länge und Breite mit ein-

ander sich verbinden, sondern nur solche, welche höchstens um 3 der gebrauchten Masseinheiten von einander entfernt sind. Gewöhnlich stehen die combinirten Kerne einander an Grösse sehr nahe. Um das Gesagte durch ein Beispiel zu erhärten, diene folgender Fall: Es sei die Breite eines Kernes 3, die Breite eines anderen mit jenem sich combinirenden Kernes 5, so sind für den Wachsthumscoefficienten 3 die Breiten der dazu gehörigen Zellen bezüglich 8 und 14. Bei centralständigen Kernen ist sonach das Lumen 7, die Kernzone (doppelt) 8, die äussere Zone (doppelt) 7, mithin das gesammte Marksystem $S = 3M + 1$; die Verhältnisse haben sich sonach nicht geändert, wohl aber hat die frühere Symmetrie eine Abänderung erfahren und auf der Seite des dickeren Kernes ist natürlich auch ein dickerer äusserer Wall. Für die Berechnung ist es aber ganz gleichgültig, ob zwei Kerne von der Breite 3 und 5, oder 2 Kerne von gleicher Breite und zwar dem arithmetischen Mittel aus den beiden, angenommen werden.

Anders dagegen wäre die Sache, wenn von den beiden combinirten Zellen jede einen anderen Entwicklungs-Coëfficienten brächte. Hier würden ausser der Symmetrie auch die Verhältnisse der einzelnen Abtheilungen zu einander eine wesentliche Veränderung erfahren. Ob in der That solche Fälle bestehen, vermag ich nicht anzugeben, ich habe übrigens auch nicht darnach geforscht.

Markraum, Kernwall, äusserer Wall fahren übrigens fort in dem ursprünglichen Verhältnisse sich zu vergrössern, das Marksystem erreicht mit dem Wachsen des Knochens das Dreifache, das Vierfache seiner ursprünglichen Grösse, ohne dass diese Verhältnisse im geringen geändert würden. Es giebt hiervon natürlich auch Ausnahmen, sie sind aber nicht so viele, dass sie eine wesentliche Veränderung des Gesetzes mit zunehmender Entwicklung des Knochenskeletes herbeiführen könnten. Dass es bei solchen im Sinne des ursprünglichen Gesetzes erfolgenden Vergrösserungen des Marksystems nicht bei den ursprünglichen zwei Knorpelkernen (späteren Knochenkörpern) bleiben könne, sondern dass sich deren immer neue fort und fort entwickeln, um die verschiedenen den Markraum umgebenden Knochenwälle zu bevölkern, liegt am Tage, die Art,

wie sie sich entwickeln und das Gesetz, nach welchem dies geschieht soll weiter unten umständlicher auseinandergesetzt werden.

Die Knorpelcombination vergrössert sich Anfangs indem jede einzelne Zelle und natürlich auch der von der Zelle eingeschlossene Kern wächst. Die Vergrösserung des Kernes geht nicht über ein gewisses Mass hinaus und so dürfte die grösste Breite eines combinirten Kernes nicht leicht 6 überschreiten. In der Regel erreicht sie nicht diese Grösse, ja bleibt sogar weit unter derselben, so dass als gewöhnliches Maximum der Breite eines Knorpelkernes und daher auch Knochenkörpers 3.5 angesehen werden kann. Anders dagegen verhält es sich mit der Länge der Kerne; in dieser Richtung wachsen die Kerne mit überraschender Schnelligkeit, so dass selten ein Marksystem die ursprünglich runde Form beibehält, sondern meist wie in Fig. 23 das Aussehen einer langgedehnten Ellipse darbietet. Die Folge wird zeigen, dass auch bei dieser Längenvergrösserung ein unbezweifelbares Gesetz obwaltet.

Es kann nicht überflüssig erscheinen wenn ich einige der genommenen Masse in diesen Blättern mittheile. Ich lasse die Messungen in nachstehender Weise folgen. Vorausgeschickt werden die Masse der Knorpelcombinationen, an sie reihen sich die Masse von Knochen und zwar von regelmässigen Längen- oder Querschnitten genommen. Bei den Knorpelcombinationen, der Grundlage des Ganzen, glaubte ich wieder zwei Tafeln entwerfen zu müssen. In der ersten dieser Tafeln ist bloss auf das Verhältniss der Grösse des Markraumes zur Breite der combinirten Kerne Rücksicht genommen, die zweite dieser Tabellen enthält die Grössen des Markraumes im Verhältnisse zur Breite der Kernzone und der äusseren Zone.

Vorerst ein Wort über die Messungen. Wo kleine Theile gemessen werden mussten, geschah dies mit äusserster Genauigkeit, so dass die Fehlergrösse kaum mehr als 0.00002 P. Z. beträgt, bei vielen Messungen, wie z. B. den weiter unten anzugebenden Kernmessungen, wurde jede Messung mehrere Male vorgenommen und das Mittel aller Angaben genommen, so dass das Resultat in der 5. Decimalstelle, meist auch noch in der 6. Stelle vollkommen richtig ist. Bei grösseren Gegenständen, die z. B.

0.0020 P. Z. übersteigen bis zu 0.03 P. Z. konnte ich mir eine weitere Fehlergrenze ziehen und bestimmte diese auf 0.00015 P. Z. In den später vorkommenden Berechnungen erlaubte ich mir hie und da bei diesen grösseren Gegenständen einige kleine Verbesserungen, welche aber nie die angenommene Fehlergrenze übersteigen. In den meisten Fällen zog ich es vor keine jener kleinen Correctionen vorzunehmen, sondern die Unterschiede zwischen der unmittelbaren Messung und der Berechnung in einer eigenen Spalte anzugeben. In der nun folgenden 1. Tabelle wurde zuerst der Durchmesser des Markraumes, dann die mit diesem Durchmesser zusammenfallende Entfernung der äusseren Ränder der beiden Kerne durch unmittelbare Messung bestimmt; hieraus durch eine einfache Subtraction der ersteren Grösse von der letzteren die doppelte Breite beider Kerne berechnet; dass der Messung nur ganz regelmässige Knorpelcombinationen und nicht etwa verzerrte oder unregelmässig geschnittene Formen unterworfen wurden, bedarf wohl kaum einer weiteren Erörterung. Die erste Spalte enthält die durch die ganze Abhandlung fortlaufende Zahl der Beobachtungen; in der letzten Spalte ist der Wachsthumscoefficient angegeben, nach welchem die Berechnungen gemacht wurden.

Tabelle I.

Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Werth von "	Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Werth von "
1	7.0	4.5	11.5	4	17	7.5	4.75	12.25	4
2	7.0	4.5	11.5	4	18	4.35	5.35	9.7	3
3	5.0	3.5	8.5	4	19	6.4	7.4	13.8	3
4	3.7	4.7	8.4	3	20	7.0	8.0	15.0	3
5	4.0	5.0	9.0	3	21	6.0	7.0	13.0	3
6	6.0	4.0	10.0	4	22	12.0	13.0	25.0	3
7	5.0	6.0	11.0	3	23	10.8	6.4	17.2	4
8	4.2	3.1	7.3	3	24	5.0	3.5	8.5	4
9	5.0	3.5	8.5	4	25	4.4	5.4	9.8	3
10	4.8	5.8	10.6	3	26	3.85	4.85	8.7	3
11	4.0	5.0	9.0	4	27	2.9	3.9	6.5	3
12	5.6	3.8	9.4	4	28	5.35	6.35	11.7	3
13	5.5	3.75	9.25	4	29	6.47	4.23	10.7	4
14	2.5	3.5	6.0	3	30	5.15	6.15	11.3	3
15	8.7	5.35	14.05	4	31	3.8	2.9	6.7	4
16	4.75	5.75	10.5	3	32	5.5	6.5	12.0	3

Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Werth von "	Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Werth von "
33	4.4	3.2	7.6	4	57	3.0	4.0	7.0	3
34	3.35	4.35	7.7	3	58	8.4	5.2	13.6	4
35	5.9	6.9	12.8	3	59	2.2	3.2	5.4	3
36	6.0	4.0	10.0	4	60	4.6	5.6	10.2	3
37	2.82	3.83	6.65	3	61	3.65	4.65	8.3	3
38	4.6	5.6	10.2	3	62	2.1	3.1	5.2	3
39	2.5	3.5	6.0	3	63	2.7	3.7	6.4	3
40	2.85	3.85	6.7	3	64	4.75	5.75	10.5	3
41	2.85	3.85	6.7	3	65	3.7	2.85	6.55	4
42	3.1	2.55	5.65	4	66	2.9	3.9	6.8	3
43	3.4	2.7	6.1	4	67	3.0	4.0	7.0	3
44	6.87	4.43	11.3	4	68	4.0	5.0	9.0	3
45	3.0	4.0	7.0	3	69	1.75	2.75	4.5	3
46	4.6	5.6	10.2	3	70	2.1	3.1	5.2	3
47	5.7	6.7	12.4	3	71	2.6	2.3	4.9	4
48	5.7	6.7	12.4	3	72	2.75	3.75	6.5	3
49	5.0	6.0	11.0	3	73	8.0	5.0	13.0	4
50	5.6	3.8	9.4	4	74*	5.6	4.7	10.25	4
51	6.3	7.3	13.6	3	75*	10.35	7.9	18.25	4
52	4.35	5.35	9.7	3	76*	4.2	3.8	8.0	4
53	5.35	6.35	11.7	3	77*	3.6	3.4	7.0	4
54	5.2	6.2	11.4	3	78*	2.4	2.6	5.0	4
55	3.2	4.2	7.4	3	79	1.4	3.8	5.2	2
56	3.6	4.6	8.2	3					

Die mit einem Sternchen bezeichneten Fälle sind Urcombinationen mit dem Coëfficienten 4, d. h. sie enthalten vollständig centralständige Kerne; die übrigen mit dem Coëfficienten 4 berechneten Fälle dagegen haben 2 Zellenincremente an der inneren, nur eines dagegen an der äusseren Seite des Kernes, ihre Markräume sind daher verhältnissmässig weiter als jene bei den ganz centralständigen Zellen mit dem Wachsthumcoëfficienten 3.

Es kann sein, dass eine Knorpelcombination in der Richtung der Breite der Kerne nach dem Coëfficienten 3, dagegen in der Richtung der Länge derselben nach dem Coëfficienten 4 berechnet werden muss. Ja diese Fälle sind verhältnissmässig sogar nicht selten und müssen bei allen Combinationen und Systemen vorkommen, bei denen die Durchschnittsform nicht die eines vollkommenen Kreises ist.

Es dürfte auffallen in der vorhergehenden Tafel nur Combinationen nach den Coëfficienten 3 und 4 keineswegs solche

nach dem Coëfficienten 2 berechnet zu sehen. Die späteren Uebersichten werden zeigen, dass diese letzteren nicht zu den Seltenheiten gehören, hier aber sind hauptsächlich zwei Gründe, aus welchem ihr Nichtvorhandensein erklärt wird. Fürs erste sind, um Beobachtungsfehler so viel wie möglich zu vermeiden, nur etwas grössere Combinationen zur Messung gewählt worden; fürs zweite kommen nur Knorpelcombinationen im Querschnitte vor. Was aber wieder den ersten Punkt betrifft so ist aus meiner Abhandlung über das Wachsthumsgesetz hervorgegangen, dass bei den Knorpeln mit fortschreitendem Wachstume eine Aenderung des Wachstums-Coëfficienten nicht zu den seltenen Fällen gehört, so dass der ursprüngliche Coëfficient 2 in den Coëfficienten 3 übergeht. Was aber den zweiten Punkt anbelangt, so würde die Sache sich in der That anders herausgestellt haben wenn ich Längenschnitte berücksichtigt hätte, denn bei diesen ist in der That der Wachstumscoëfficient grösstentheils die Zahl 2.

Ich habe in meiner Schrift „über das Wachsthumsgesetz“ erwähnt, dass der Wachstumscoëfficient 4, so wie überhaupt jeder höhere Coëfficient als 3 zu den Seltenheiten gehöre. Die vorhergehende Tafel scheint hiemit im Widerspruche zu sein, doch liegt hier eine Erklärung nahe, die noch im Folgenden ihre Bestätigung erhalten wird. Es konnte nämlich statt des Wachstumscoëfficienten 4 auch der Coëfficient 3 berechnet werden, dagegen müsste noch zum Markraume beiderseits ein einfaches Increment hinzugezählt werden, oder mit anderen Worten: die combinirten Zellen hätten sich mit vollständig centralständigem Kerne und dem Coëfficienten 3 entwickelt; bei weiterer Vergrösserung des Knorpels aber seien die einzelnen Theile nicht um verhältnissmässig gleichviel gewachsen, sondern der Markraum habe das Doppelte im Verhältnisse zu den übrigen Theilen angesetzt. Diese Erklärung ist aus manchen Gründen die statthaftere; durch sie treten alle nicht mit Sternchen versehenen Fälle in der 1. Tafel, welche den Coëfficienten 4 enthalten in die Reihe der Urcombinationen mit dem Coëfficienten 3 zurück, und die Aufnahme dieser Fälle in eine Tafel, welche nur die Urcombinationen enthalten sollte, ist somit gerechtfertigt.

Dieser ersten Uebersicht füge ich noch einige Fälle bei, welche eine vollkommene Messung aller Theile einer Knorpel-combination: des Markraumes, der Knochenzone und der äusseren Zone enthalten.

Tabelle II.

Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite		Total- Summe	Werth von n
		des Kernwalles	des äus- seren Ringes		
80	4.2	5.2	4.2	13.6	3
81	4.6	5.6	4.6	15.8	3
82	4.85	5.85	4.85	15.55	3
83	6.1	7.1	6.1	19.3	3
84	2.8	3.8	2.8	9.4	3
85	4.3	5.3	4.3	13.9	3
86	6.1	7.1	6.1	19.3	3
87	2.4	5.8	2.4	10.6	2
88	4.3	9.6	4.3	18.2	2
89	9.2	5.6	4.6	19.4	4
90	10.0	6.0	5.0	21.0	4
91	7.4	4.7	3.7	15.8	4
92	4.8	3.4	2.4	13.6	4
93	9.7	5.85	4.85	20.4	4
94	9.3	5.65	4.65	19.6	4
95	7.0	4.5	3.5	15.0	4
96	4.6	3.3	2.3	10.2	4
97	8.6	5.3	4.3	18.2	4

Die geringe Zahl dieser Fälle hat darin ihren Grund, dass ich nach dem was über das Wachsthumsgesetz der Zellen bekannt ist und nach der in der vorigen Tabelle unternommenen Beweisführung als ziemlich überflüssig betrachten konnte, diesen Combinationen weiter *ex professo* nachzuspüren, ich benützte daher nur die Fälle die mir gerade der Zufall bot, und wandte meine ganze Aufmerksamkeit, nachdem ich einmal das normale Verhalten erkannt hatte, auf die weniger normalen Fälle, deren ich im Verlaufe eine namhafte Zahl werde darbieten können.

Alle die oben angegebenen Verhältnisse beruhen auf folgenden directen Messungen. Ich bestimmte zuerst den Durchmesser des Markraumes; hierauf den grössten Durchmesser der Kernzone, dann den grössten Durchmesser der äusseren Zone. Indem ich die zweite der gefundenen Grössen von der dritten, dann die erste von der zweiten abzog, erhielt ich die

doppelte Breite des äusseren und die doppelte Breite des Kernringes. Der in der zweiten Spalte angegebene Durchmesser mit dem einfachen Wachstums-Exponenten 3, oder dem doppelten Wachstums-Exponenten 2 multiplicirt und das gefundene Product um die Einheit vermehrt muss der in der fünften Spalte angegebenen Summe gleich sein.

Nach diesen Untersuchungen wird es keine Schwierigkeit machen, die nachfolgende Tafel zu verstehen. Es sind Schnitte durch verschiedene Marksysteme der Knochen, die sämmtlich ausgemessen, und deren Verhältnisse nach der Formel $S = m M + 1$ berechnet wurden, wobei dem Buchstaben m die Werthe 2, 3 oder auch 4 beigelegt wurden, je nachdem $n = 2$ oder 3 oder 4 ist. Dass vor der Hand nur regelmässige Formen zu diesen Untersuchungen verwendet wurden, bedarf keiner Erwähnung. Die Schnitte waren entweder Längen- oder Querschnitte. Die Bedeutung jeder Spalte ist aus dem Vorhergegangenen verständlich.

Tabelle III.

Zahl der Beobachtung	Lumen des Mark- raumes	Kernwall	Aussen- wall	Total- Summe	Werth von n	Differenz
		doppelte Breite				
98	16·0	17·0	16·0	49·0	3	+ 1·0
99	19·5	20·5	19·5	59·5	3	— 0·5
100	22·0	23·0	22·0	67·0	3	0
101	20·0	21·0	20·0	61·0	3	+ 1·0
102	33·0	34·0	33·0	100·0	3	0
103	13·0	14·0	13·0	40·0	3	0
104	20·5	21·5	20·5	62·5	3	+ 0·5
105	14·0	15·0	14·0	43·0	3	— 1·0
106	14·5	15·5	14·5	44·5	3	+ 0·5
107	25·5	26·5	25·5	77·5	3	+ 0·5
108	31·0	32·0	31·0	94·0	3	— 1·0
109	20·0	21·0	20·0	61·0	3	+ 1·0
110	18·5	19·5	18·5	56·5	3	— 0·5
111	10·0	11·0	10·0	31·0	3	+ 1·0
112	36·5	37·5	36·5	110·5	3	+ 0·5
113	18·5	19·5	18·5	56·5	3	— 0·5
114	16·5	17·5	16·5	50·5	3	+ 0·5
115	14·0	15·0	14·0	43·0	3	0
116	16·5	17·5	16·5	49·5	3	— 0·5
117	31·0	32·0	31·0	94·0	3	+ 1·0
118	48·0	49·0	48·0	145·0	3	+ 1·0
119	23·0	24·0	23·0	70·0	3	0
120	13·5	14·5	13·5	41·5	3	+ 0·5
121	25·5	26·5	25·5	77·5	3	0

Zahl der Beobachtung	Lumen des Mark- raumes	Kernwall	Aussen- wall	Total- Summe	Werth von n	Differenz
		doppelte Breite				
122	27.0	28.0	27.0	82.0	3	0
123	37.5	38.5	37.5	113.5	3	— 0.5
124	30.0	31.0	30.0	91.0	3	+ 1.0
125	25.0	26.0	25.0	76.0	3	+ 1.0
126	36.0	37.0	36.0	109.0	3	+ 1.0
127	15.0	16.0	15.0	46.0	3	+ 1.0
128	16.5	17.5	16.5	50.5	3	+ 0.5
129	18.0	19.0	18.0	55.0	3	— 0.5
130	34.0	35.0	34.0	103.0	3	0
131	44.0	45.0	44.0	133.0	3	+ 1.0
132	45.3	46.3	45.3	136.9	3	0
133	19.0	20.0	19.0	58.0	3	— 0.5
134	15.0	31.0	15.0	61.0	2	— 1.5
135	20.0	41.0	20.0	81.0	2	0
136	12.5	26.0	12.5	51.0	2	0
137	23.0	47.0	23.0	93.0	2	0
138	18.0	37.0	18.0	73.0	2	+ 1.5
139	19.0	39.0	19.0	77.0	2	— 1.5
140	15.4	31.8	15.4	62.6	2	0
141	24.0	49.0	24.0	97.0	2	0
142	14.0	29.0	14.0	57.0	2	— 1.0
143	14.0	29.0	14.0	57.0	2	— 1.0
144	19.5	40.0	19.5	79.0	2	— 1.0
145	16.5	34.0	16.5	67.0	2	0
146	10.0	21.0	10.0	41.0	2	0
147	17.0	35.0	17.0	69.0	2	— 1.0
148	8.0	17.0	8.0	33.0	2	0
149	12.0	25.0	12.0	49.0	2	— 1.0
150	13.2	27.4	13.2	53.8	2	— 0.2
151	14.0	29.0	14.0	57.0	2	+ 1.5
152	18.0	37.0	18.0	73.0	2	— 0.5
153	10.0	21.0	10.0	41.0	2	0
154	27.0	55.0	27.0	109.0	2	— 1.0
155	12.5	26.0	12.5	51.0	2	— 1.5
156	22.0	45.0	22.0	89.0	2	0
157	40.0	41.0	40.0	121.0	3	— 1.0
158	19.0	20.0	19.0	58.0	3	0
159	27.5	28.5	27.5	83.5	3	— 0.5
160	40.0	41.0	40.0	121.0	3	0
161	33.0	34.0	33.0	100.0	3	+ 1.0
162	17.5	18.5	17.5	53.5	3	— 0.5
163	10.0	11.0	10.0	31.0	3	+ 1.0
164	22.5	23.5	22.5	68.5	3	— 0.5
165	10.5	11.5	10.5	32.5	3	+ 0.5
166	13.0	14.0	13.0	40.0	3	— 1.0
167	10.0	11.0	10.0	31.0	3	— 1.0
168	19.0	20.0	19.0	58.0	3	— 1.0
169	23.0	24.0	23.0	70.0	3	0
170	20.5	21.5	20.5	62.5	3	+ 0.5
171	10.5	11.5	10.5	32.5	3	— 0.5
172	10.5	11.5	10.5	32.5	3	+ 0.5

Zahl der Beobachtung	Lumen des Mark- raumes	Kernwall	Aussen- wall	Total- Summe	Werth von n	Differenz
		doppelte Breite				
173	14.0	15.0	14.0	43.0	3	— 1.0
174	15.5	16.5	15.5	47.5	3	— 0.5
175	27.0	28.0	27.0	82.0	3	0
176	29.0	30.0	29.0	88.0	3	0
177	14.0	15.0	14.0	43.0	3	0
178	11.8	12.8	11.8	24.6	3	0
179	20.0	21.0	20.0	61.0	3	0
180	14.0	15.0	14.0	43.0	3	0
181	16.5	17.5	16.5	50.5	3	— 0.5
182	8.7	9.7	8.7	27.1	3	— 0.1
183	32.5	33.5	32.5	98.5	3	— 0.5
184	15.5	16.5	15.5	46.5	3	— 0.5
185	33.0	34.0	33.0	100.0	3	— 1.0
186	23.0	24.0	23.0	70.0	3	0
187	20.0	21.0	20.0	61.0	3	0
188	42.0	45.0	22.0	89.0	2	— 1.0
189	14.0	29.0	14.0	57.0	2	+ 1.0
190	18.5	41.0	18.5	75.0	2	0
191	14.0	29.0	14.0	57.0	2	0
192	14.7	30.4	14.7	59.8	2	— 0.2
193	18.0	37.0	18.0	73.0	2	0
194	12.5	26.0	12.5	51.0	2	0
195	10.0	21.0	10.0	41.0	2	— 0.5
196	25.0	51.0	25.0	10.10	2	— 0.5
197	25.0	51.0	25.0	10.10	2	+ 0.5
198	20.5	42.0	20.5	83.0	2	— 1.0
199	21.5	44.0	21.5	87.0	2	0
200	16.0	33.0	16.0	65.0	2	— 1.0
201	28.0	15.0	14.0	57.0	4	0
202	28.0	15.0	14.0	57.0	4	+ 1.0
203	32.5	17.25	16.25	66.0	4	— 0.5
204	12.0	7.0	6.0	25.0	4	— 1.0
205	19.0	10.5	19.0	39.0	4	— 0.0
206	67.0	34.5	33.5	135.0	4	0
207	72.0	37.0	36.0	145.0	4	0
208	102.0	52.0	51.0	205.0	4	0
209	20.0	11.0	10.0	41.0	4	+ 1.0
210	50.0	26.0	25.0	101.0	4	+ 1.0
211	29.0	15.5	14.5	59.0	4	0
212	50.0	26.0	25.0	101.0	4	+ 1.0
213	30.5	16.25	15.25	62.0	4	0

Dieser Tabelle ist wenig hinzuzufügen. Jene Fälle, welche nach dem Coëfficienten 3 und 2 berechnet wurden, sind sämtlich aus Urcombinationen hervorgegangen; die Kernstellung ist eine vollkommen symmetrische, centrale. Gemessen wurden: die Grössen der 2. Spalte, die Breite des ganzen Marksystems; berechnet dagegen: die Grössen der 3., 4. und 5. Spalte. Die Uebereinstim-

mung zwischen Messung und Rechnung gibt alle nur wünschbare Genauigkeit, denn wie aus der angeschlossenen 6. Spalte hervorgeht, überschreitet nirgends die Differenz zwischen Messung und Rechnung die Grösse von 0.00015 P. Z. und fällt gewöhnlich auf beide Seiten von 0, so dass sich positive und negative Differenzen zuletzt so ziemlich das Gleichgewicht halten. Auch ist zu bemerken, dass diese Differenz, welche nur die Grössen in der 5. Spalte trifft, wegen der Grösse der dort angeführten Zahlen in der Mehrzahl der Fälle kaum der $\frac{1}{50}$ Theil der gemessenen Grösse ist, und dass wenn man den Beobachtungsfehler auf die Grössen in der 2. Spalte reducirt er in der Regel unter 0.00003 P. Z. bleibt, das Ergebniss mithin an Genauigkeit nichts zu wünschen übrig lässt. Was die Fälle mit dem Wachsthumscoefficienten 4 betrifft, so lassen sich diese in doppelter Weise erklären. Sie sind nämlich entweder, wie sie in obiger Tabelle aufgefasst wurden, wirklich aus Combinationen entstanden, welche mit dem Coefficienten 4 berechnet werden können, dann ist aber die Stellung des Kernes eine excentrische, und zwar befinden sich 2 Zellenincremente an der inneren, eines dagegen an der äusseren Seite des Kernes oder sie lassen sich mit dem Exponenten 3 berechnen, dann war die ursprüngliche Stellung der combinirten Zellen eine vollkommen symmetrische, die Combination eine Urcombination, aber bei der späteren Vergrösserung des ganzen Systems übertraf die Weitenzunahme des Markraumes jene der übrigen Theile um das Doppelte. Welche von den beiden Erklärungen die brauchbarere ist, darüber kann man wohl nicht leicht absprechen, mehrere Umstände bestimmen mich, der letzteren Ansicht den Vorzug einzuräumen.

Die Knochen, die zu den Messungen benützt wurden, waren von den verschiedensten Theilen gewählt; Stirnbein, Schläfebein, Rippen, Schenkel, Unterschenkelknochen, Darmbein, Phalangen, und zwar sowohl bei Neugeborenen als bei vollständig ausgewachsenen Personen boten das reichliche Materiale dar. Die Schnitte fielen in den zwei aufeinander senkrechten Richtungen; nämlich quer durch die Markcanäle und sodann parallel mit der Längsachse derselben. Rinde und Marksubstanz der Knochen wurden in gleicher Weise untersucht. Natürlich war die Auswahl der Gegenstände eine sorgfältige und so blieben vorläufig die weiten Markräume der eigentlichen Marksubstanz ausgeschlossen, da sich bei

diesen eine Modification des Grundgesetzes der Entwicklung zeigte, von der bald die Rede sein soll.

Die Fälle mit dem Wachsthumscoefficienten 2 finden sich hauptsächlich aber, wo der Knochen das dichteste Gefüge darbietet, doch kommen sie auch hie und da zwischen den weiten Markräumen der spongiösen Substanz vor; die Fälle mit dem Coefficienten 3 erscheinen überhaupt in der Rinde der Knochen in grösserer Menge; die Fälle mit dem Coefficienten 4 an der Uebergangsstelle von der Rinde in das Mark, sonst nur hie und da eingestreut. —

Ich nehme nun den behufs der beweisenden Induction im Früheren abgeschnittenen Faden der Beschreibung wieder auf, und verfolge die Knorpelcombinationen bis zur völligen Umwandlung in geschlossene Knochenmarksysteme.

Wir hatten die regelmässige Knorpelcombination in folgendem Zustande verlassen: Sie stellte auf dem Querschnitte zwei ineinander geschobene Ringe vor genau bestimmten Dimensionen dar, von denen der innere seiner ganzen Breite nach an zwei einander genau gegenübergestellten Stellen den ehemaligen Knorpelkern enthält, der äussere dagegen nach Aussen hin nur durch eine äusserst zarte Contour begrenzt, meist durch die vollständige Farblosigkeit und Durchsichtigkeit einerseits von dem inneren Ringe, andererseits von dem umgebenden Stroma sich unterscheidet, und durchaus keine Trübung, Fleckung oder sonstige Unreinheit erkennen lässt. Bei weiterer Vergrösserung der Knorpelcombination hält die Vergrösserung des Kernes nicht mehr gleichen Schritt weder mit der Breiten- noch Grössenzunahme des Kernwalles. Das Knorpelkörperchen (d. h. der Kern der Knorpelzelle), das nun in der Umwandlung in einen Knochenkörper begriffen ist, bleibt seiner Grösse nach stationär, während Markraum, Kernwall und äusserer Wall sich fort und fort vergrössern, aber auch zugleich immer noch die ursprünglichen Verhältnisse beibehalten. Der Kernwall springt daher nun bald an der inneren Seite, d. h. gegen den Markraum, bald an der äusseren Seite des Knochenkörpers, d. h. gegen den äussern Ring hin in Form eines farblosen Streifens über das Knorpelkörperchen vor, wie in den Figuren 21 und 25. Auch hier treten wieder ganz bestimmte Verhältnisse ein, deren Kenntniss aber ohne vorausgegangene Untersuchung über das Wachsthumsgesetz der Zellen nie möglich geworden wäre. Das Ver-

hältniss der Breite des nun ossificirenden Knorpelkernes zur Breite des ganzen Kernwalles ist genau von dem Gesetze $Z = nK - (n - 1) 0.5$ abhängig und nach diesem zu berechnen; die Breite des Kernwalles ist aber wieder zur Grösse des Lumens und zur Breite des äusseren Walles aus der Formel $S = nM + 1$ zu bestimmen. Hierüber ein Beispiel. Die Breite eines Markraumes betrage 9, so ist die einfache Breite des Kernwalles 5, jene des äusseren Ringes dagegen 4.5. Eine Breite von 5 besitzt aber nicht leicht ein Knochenkörper; die gewöhnliche Breite kann 2 betragen. Dann ist der kernfreie Theil des Kernwalles der Breite nach 3, oder der Kernwall steht entweder nach einwärts oder nach auswärts vom Knochenkörper um 0.0003 P. Z. ab, was sich vollkommen genau nach dem Gesetze $Z = 3K - 1$ berechnen lässt. Oder das Knochenkörperchen misst der Breite nach 2.75, so steht der Kernwall um 2.25 nach ein- oder nach auswärts davon ab nach dem Gesetze $Z = 2K - 0.5$ und diese Verhältnisse kehren bis in das kleinste Detail wieder. — Die Längenzunahme der Knochenkörper folgt noch längere Zeit der Grössenzunahme des Kernwalles und so kann es geschehen, dass noch in sehr grossen Urcombinationen nur zwei Knochenkörper vorkommen, deren Länge ganz ausreicht um die auf sie nach dem Gesetze $Z = nK - (n - 1) 0.00005$ entfallende Entfernung zu decken wie dies aus der 19. Fig. ersichtlich ist. Ich werde Gelegenheit haben, auf das Gesetz dieser Grössenzunahme noch später genauer einzugehen.

Oft tritt dieser Stillstand im Wachsen der Knorpelkörper sehr frühzeitig und noch in einer Periode ein, in welcher die Umwallung der Combination und die Ausbildung eines Markraumes noch nicht vollendet ist; ich habe dies in den Figuren 28, 29, 30, 31 dargestellt, in welche der ganze in jeder einzelnen Zelle befindliche Halbkreis sammt dem eingeschlossenen Knochenkörper die Stelle des ursprünglichen Knorpelkernes vertritt, und zu den anderen Theilen der Combination in dem diesem Kerne entsprechenden Verhältnisse steht, während wieder der eben gebildete Knochenkörper zu seiner unmittelbaren Umwallung in einem durch das bekannte Wachsthumsgesetz bestimmten Verhältnisse sich findet. Oefter tritt auch der Umstand ein, dass das neugebildete Knochenkörperchen wie in Fig. 26 die Mitte des ihm zugehörigen Kern-

walles erfüllt, so dass zu seinen beiden Seiten Theile des Kernwalles vorragen. In zweien der eben angegebenen Fälle, nämlich in der letzten Figur 26 und in der Figur 19 oder 21 kann übrigens beim Messen leicht ein Irrthum vorkommen, der zu den widersprechendsten Resultaten führen könnte. Misst man nämlich, wie in den bisherigen Fällen immer geschehen ist, zur Bestimmung der Weite des Lumens die Entfernung der Innenränder beider Kerne, so wird dadurch das Lumen eben zu gross erhalten und die Formel $S = m M + 1$ der Urcombination ist nicht mehr anwendbar. Sie wird es aber wieder sobald man einen der Breite des Knochenkörpers entsprechenden Theil des Kernwalles nach dem Wachsthumsgesetze entweder hinzuzählt oder von der gefundenen Grösse abzieht. Die Uebereinstimmung, die hier zwischen Theorie und Erfahrung zu Tage kömmt, gehört zu den lohnendsten Ueberraschungen, die man im Laufe der mühevollen und zuweilen unerquicklichen Messungsarbeiten geniesst.

Während solche Veränderungen in dem Kernwalle vor sich gehen, hat sich das Aussehen des äusseren Walles wesentlich verändert. Seine frühere Fleckenlosigkeit hat nun einer leichten Trübung Platz gemacht, seine Fläche erscheint feinkörnig und besonders gegen den äusseren Rand hin sind diese Körner dicht gestreut und dabei auch von auffallenderer Grösse. Hiermit scheint die Verknöcherung eingeleitet zu werden. Auch dieser äussere Wall zerfällt bald darauf in zwei concentrische Ringe, da er beim Wachsen der Knorpelcombination eine Breite erreicht, welche jene eines einfachen Knochenkörpers bei Weitem übersteigt. Diese beiden, dem äusseren Walle angehörigen Ringe unterscheiden sich übrigens durch ihre Farbe, der äussere ist meistens dunkler und grobkörniger als der innere. Beide stehen aber, was ihre Breite betrifft, in einem genau nach dem Wachsthumsgesetze zu bemessenden Verhältnisse. Wenn, um bei dem oben angeführten Beispiele zu bleiben, die einfache Breite des äusseren Walles 4.5 beträgt, so theilt sich diese Zone nicht selten in zwei, von denen die äusseren die Breite 2.5 (Breite des Knochenkörpers), die innere die Breite 2.0 nach dem Gesetze $Z = 2K - 0.5$ darbietet; oder die äussere Zone zeigt die Breite 1.833... (Breite des Knochenkörpers), die innere Zone die Breite 2.66..., nach dem Wachsthumsgesetze $Z = 3K - 1$ berechnet.

Zuweilen tritt dieses Zerfallen des äusseren Walles schon in einer Periode ein, in welcher noch keine sonstige Andeutung der Verknöcherung sich ausspricht, gewöhnlicher aber erscheint sie erst dann, wenn im äusseren Walle die Andeutungen der Knochenkörper sichtbar werden. Es ist nämlich eine der interessanten Thatsachen, dass in dem äusseren Walle die Knochenkörper sich bilden, ohne dass zu irgend einer Zeit Knorpelzellen mit Kernen sichtbar werden, welche letztere doch an andere Stellen und selbst an dem Kernwalle durch ihre Metamorphose das Knochenkörperchen bilden. Doch selbst in dem Kernwalle treten bei fortnehmender Grössenzunahme, da die ursprünglichen Kerne zur Raumbedeckung nicht hinreichen, häufig neue Knochenkörper hinzu ohne vorausgegangene Zellen- und Kernbildung. Gerade hierin aber bietet der ossificirende Knorpel mit anderen Gewebstheilen Aehnlichkeit dar. Es wurde nämlich bereits in meiner Abhandlung über das Wachsthumsgesetz der Zellen darauf aufmerksam gemacht, dass die Gesetze der organischen Bildung von Periode zu Periode einem fortwährenden Wechsel unterworfen seien, so dass die später nachgebildeten Theile nicht mehr auf dem Umwege der embryonalen Formumwandlungen sich bilden, sondern allsogleich jenen Habitus darbieten, den die bereits gebildeten Formen zu der Zeit an sich tragen, in welcher die Entstehung dieser neuen Theile fällt. —

So sind an der Stelle der ursprünglichen zwei Zonen vier erschienen, von denen jede die ursprüngliche Zone an Breite übertrifft. Die Abgrenzung dieser Zonen von einander ist durch eine zwar deutliche aber nicht immer stark hervortretende Linie sichtbar; nur die innerste Kernumwallung zeigt neben einer scharfen auch eine sehr deutliche Grenzlinie. Mit der fortwährenden Breitenzunahme wiederholt sich dieses Zerfallen in concentrische Ringe, wobei jedoch immer das Gesetz $Z = nK - (n-1) 0.5$ eingehalten wird. So entstehen gleichsam Knochenfasern, deren Ränder und Seiten mit den Knochenkörpern bedeckt sind, deren Breite in einem bestimmten Verhältnisse zur Breite der Fasern, deren gegenseitige Entfernung gleichfalls einem durch die thierischen Gewebstheile durchgreifenden Gesetze unterworfen sind.

Während diese Vorgänge in den den Markraum umgebenden Ringen sich abwickelten, hat der Markraum selbst ein ganz ande-

res Aussehen erhalten. Nachdem, wie dies in den Figuren 18, 19, 20, 21 zu sehen ist, jede Spur des früheren Zusammenstossens der combinirten Flächen geschwunden ist, und der Markraum eine vollkommen gleichartige Fläche dargeboten hatte, erscheint, wie dies bereits oben auseinandergesetzt wurde, eine ihn gegen den Kernwall begrenzende scharfe mit den anderen Ringen concentrische Linie, wodurch er als ein eigenthümlicher und selbstständiger Raumtheil hervortritt. In diesem Zustande verharret er übrigens nicht lange; denn bald entwickelt sich in ihm ein runder Kern mit einem seitwärts liegenden Fett-Tröpfchen, hierauf ein zweiter ähnlicher wieder mit einem seitwärtsliegenden fettähnlichen Tropfen und so fällt bei immer zunehmender Erweiterung des Markraumes denselben zuletzt eine ganze Generation neuer den früheren wenig ähnlicher Gebilde. Die bald darauf eintretende Blutfarbe lässt dann den Markraum intensiv roth und gleichmässig gefüllt erscheinen, und hier ist es wo ich meine Untersuchungen über die Entwicklung der Knorpelcombinationen abbrach, und dagegen die Messungen an den vollendeten Marksystemen des Knochens wieder aufnahm.

So jener Entwicklungsvorgang, welcher von mir wegen der Präcision und Einfachheit mit dem Namen des normalen Vorganges belegt wird, ohne hiermit andeuten zu wollen, dass die anderen Vorgänge, deren Erörterung nun folgen soll, nur bei pathologischen Producten angetroffen werden sollten.

Die nachfolgenden Untersuchungen betreffen jene Fälle der Entwicklung, zu welchen der bisher geschilderte Vorgang das Master und den Ausgangspunkt gegeben hat. Wenn man diese anderen Fälle untersucht, deren Mannigfaltigkeit überblickt, so staunt man über die Einfachheit der gewählten Mittel und über den Reichthum der so entstandenen Formen.

Nicht in allen Fällen werden Knorpelcombinationen zur Bildung der Marksysteme verwendet; in einigen, obgleich seltenen Fällen genügen einfache und ungepaarte Knorpelzellen. Hierbei ist der Vorgang folgender: Es sei eine Zelle mit einem centralständigen Kerne (Fig. 38) von der Breite 3 und der Länge 6, so bietet die ganze Zelle nach dem Wachsthumsgesetze eine Breite von 8, eine Länge von 17 dar, unter der Voraussetzung dass $n=3$ ist. Der Kern der Knorpelzelle ist daher von einem

lichten Zellenhufe umschlossen, der jederseits von der Breite 2·5 bis zur Breite von 5·5 an den Polen ansteigt und sich gegen das mattere und durchsichtigere Stroma mit einer sehr feinen Linie abgrenzt. Kern und Zelle vergrössern sich eine Zeit lang nach dem bekannten Wachsthumsgesetze, bis der anfängliche Knorpelkern jene Dimensionen zu übersteigen beginnt, welche ein Knochenkörper für gewöhnlich darzubieten pflegt. Während sich nun die Grenzen des Knorpelkernes in dem durch das Wachsthumsgesetz gebotenen Verhältnisse fort und fort erweitern, entsteht in dem anfänglichen Knorpelkerne ein neuer runder Kern (Fig. 39), der in seiner weiteren Metamorphose zum Knochenkörper wird oder in anderen Fällen entstehen fort und fort neue Kerne und der ursprüngliche Kernraum wird nun zum Markraume des neugebildeten Knochens (Fig. 40, 41). Hierauf erfolgt das Zerfallen des äusseren Ringes anfangs in zwei concentrische Ringe und sofort die weitere Umwandlung in ein Knochengewebe nach der früher angegebenen Weise. Hat sich in der Mitte der Kernfläche ein Knochenkörper gebildet, so scheint dieser bei den weiteren Metamorphosen wieder absorbiert zu werden.

Durch diese unpaare Entwicklung werden nun die Verhältnisse der einzelnen Theile des Marksystemes nicht mehr aus der Formel $S=3M+1$ entwickelt werden können, sondern es muss der Berechnung die Formel $S=n(M)-(n-1)0.5$ untergelegt werden, wenn in der Formel des Wachsthumsgesetzes der Zellen statt Z S d. h. die Breite des ganzen Marksystemes, und statt K M d. h. die entsprechende Weite des Markcanales gesetzt wird, wobei der Coëfficient den Werth von 2 oder 3 erhält. Die Differenz der nach dieser Formel ausgeführten Berechnung und jener nach dem erst angegebenen Gesetze erhaltenen beträgt für den Exponenten 3 nur die Grösse 2, so dass die Urcombinationen mit diesem Coëfficienten die zur Beweisführung hinreichende Ueberzeugungskraft erst durch die folgenden Untersuchungen erlangen. —

Eine Vergrösserung des ganzen Marksystemes weiss die Natur in einigen Fällen dadurch zu erzeugen, dass sich beim Wachsen dieses Systemes das Lumen in einem andern und zwar einem stärkeren Verhältnisse vergrössert als die beiden dasselbe umgebenden Knochenwälle. Die Fälle, welche bisher als solche aufgeführt wurden, deren Entwicklungscöefficient die Zahl 4 ist, wurden

bereits auch in der Weise erklärt, dass der Wachsthumscoefficient 4 in 3 umgewandelt und angenommen wurde, der Markraum habe sich auf das Doppelte seiner ihm zukommenden Grösse erweitert, während die Knochenwälle dem einmal angenommenen Verhältnisse treu geblieben. Ob sich die Sache wirklich so verhalte, konnte natürlich nicht mit Bestimmtheit angegeben werden in jenen Fällen, die bereits eine entwickelte Thatsache darstellen; nun kann ich aber in der That directe Messungen, zumal an Knorpeln vorbringen, welche die Existenz dieser Art der Vergrösserung unzweifelhaft darlegen. In welchem Verhältnisse und wie weit eine derartige Vergrösserung erfolgen könne, dies kann begreiflicher Weise nur auf dem Wege der Erfahrung ermittelt werden; diese hat nun gelehrt, dass die Vergrösserung immer ein ganzes Multiplum der durch das Bildungsgesetz geforderten Grösse des Lumens sei. Ich habe die aufgefundenen Fälle in Tabellen zusammengestellt, die ich im Folgenden mittheile. Ich beginne mit jenen Knorpeln, bei denen blos Lumen und Kernwall einer directen Messung unterzogen, der äussere Wall aber aus der Grösse des Kernwalles berechnet wurde. In einer eigenen Spalte ist der Werth des Vergrösserungscoefficienten beigegeben, d. h. jene Zahl enthalten, mit der die Breite des Lumens getheilt werden muss, um die Breite des äusseren Walles zu erhalten. Hierauf folgen in der 5. Tabelle vollständige Messungen der Knorpelcombinationen mit beigefügter Angabe des Vergrösserungs- und des Wachsthumscoefficienten, von denen sich der erste auf das Lumen des Markraumes, der letztere auf das Verhältniss der Grösse der Zelle zur Grösse des Kernes bezieht, wie aus dem bisherigen bekannt ist.

Tabelle IV.

Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Vergrösserungscoefficient.	Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Vergrösserungscoefficient.
214	7.335	2.665	10.000	6	222	9.225	4.075	13.3	3
215	8.4	3.8	12.2	3	223	3.9	2.3	6.2	3
216	9.99	4.33	14.32	3	224	9.3	4.1	13.4	3
217	4.5	2.5	7.0	3	225	10.5	4.5	15.0	3
218	10.0	3.5	13.5	5	226	3.75	2.25	6.0	3
219	11.4	4.8	16.2	3	227	9.225	4.075	13.3	3
220	16.5	6.5	23.0	3	228	7.2	2.8	10.0	4
221	6.0	2.2	8.2	5	229	3.99	2.33	6.32	3

Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Vergrößerungs-Coefficient	Zahl der Beobachtung	Durchmesser des Markraumes	Doppelte Breite des Kernwalles	Summe beider	Vergrößerungs-Coefficient
230	9.99	2.11	12.1	9	241	7.5	2.5	10.0	5
231	12.0	3.0	15.0	6	242	13.5	3.7	17.2	5
232	8.7	3.9	11.6	3	243	7.415	2.483	9.9	5
233	13.76	4.44	18.2	4	244	16.0	5.0	21.0	4
234	13.60	4.4	18.0	4	245	11.2	3.8	15.0	4
235	11.36	3.84	15.2	4	246	16.0	5.0	21.0	4
236	19.0	4.8	23.8	5	247	8.4	3.1	11.5	4
237	6.0	3.0	9.0	3	248	7.2	2.8	10.0	4
238	14.625	5.875	20.5	3	249	12.3	3.05	15.35	6
239	9.3	4.1	13.4	3	250	17.0	4.4	21.4	5
240	3.75	2.25	6.0	3	251	11.0	3.75	14.75	4

Man sieht aus dieser Tabelle, dass die Erweiterung des Markraumes schon in sehr frühen Entwicklungsperioden erfolgen kann, so in dem 230. Falle wo die Breite eines Kernes die Grösse 1.05 erreicht. Ebenso kann man es als Regel annehmen, dass die Erweiterung nur das sechsfache der normalen Weite erreicht, denn der 230. Fall ist eine der wenigen Ausnahmen, die mir bei diesen vielen Untersuchungen vorgekommen sind.

Tabelle V.

Zahl der Beobachtung	Lumen des Markraumes	Doppelte Breite		Total-Summe	Vergrößerungs-Coefficient	Werth von n
		des Kernwalles	des äussern Walles			
252	15.0	3.5	2.5	21.0	6	3
253	13.0	3.6	2.6	19.2	5	3
254	6.3	3.1	2.1	11.5	3	3
255	9.5	3.375	2.375	15.25	4	3
256	10.2	3.55	2.55	16.3	4	3
257	11.2	1.70	0.7	13.6	16	3
258	13.95	3.325	2.325	19.6	6	3
259	16.5	1.825	0.825	19.15	20	3
260	16.48	3.06	2.06	21.6	8	3
261	11.0	3.75	2.75	17.5	4	3
262	25.2	2.575	1.575	29.35	16	3
263	10.32	2.72	1.72	14.76	6	3
264	9.625	2.925	1.925	14.475	5	3
265	12.125	2.425	3.425	17.975	5	3
266	13.6	3.4	4.4	21.4	4	3
267	13.65	2.275	3.275	19.2	6	3
268	12.5	2.5	3.5	18.5	5	3
269	14.48	1.81	2.81	19.10	8	3
270	6.0	3.0	2.0	11.0	3	3
271	14.2	4.55	3.55	22.3	4	3

Zahl der Beobachtung	Lumen des Mark- raumes	Doppelte Breite		Total- Summe	Vergrösse- rungs- Coëfficient	Werth von n
		des Kernwalles	des äussern Walles			
272	9.15	4.05	3.05	16.25	3	3
273	6.2	2.55	1.55	10.30	4	3
274	12.3	3.05	2.05	17.4	6	3
275	15.4	3.08	4.08	22.56	5	3
276	19.215	3.745	2.745	25.705	7	3
277	19.25	4.85	3.85	27.95	5	3
278	7.5	3.5	2.5	13.5	3	3
279	10.4	3.6	2.6	16.6	4	3
280	15.0	6.0	5.0	26.0	3	3
281	7.02	3.34	2.34	12.70	3	3
282	4.99	2.83	1.83	9.65	3	3
283	7.5	3.5	2.5	13.5	3	3
284	6.6	3.2	2.2	12.0	3	3
285	11.7	2.3	1.3	15.3	9	3
286	15.3	2.7	1.7	19.7	9	3
287	14.8	3.96	2.96	21.72	5	3
288	8.6	5.3	4.3	18.2	3	3
289	13.5	4.375	3.375	21.25	4	3
290	11.8	4.933	3.933	20.66	3	3
291	14.5	4.625	3.625	22.75	4	3
292	5.9	1.59	0.59	8.08	10	2
293	15.7	2.57	1.57	19.8	10	3
294	19.5	2.95	1.95	24.4	10	3
295	7.0	4.5	3.5	15.0	2	3
296	10.35	3.07	2.07	15.49	5	3
297	13.2	4.3	3.3	20.8	4	3
298	12.6	3.52	2.52	18.64	5	3
299	6.3	3.1	2.1	11.5	3	3
300	10.0	4.33..	3.33..	18.0	3	3
301	12.85	3.57	2.57	18.99	5	3
302	12.1	3.42	2.42	17.94	5	3
303	7.2	4.6	1.8	3.6	4	2
304	26.528	7.633	3.3166	37.477	8	2
305	12.66..	3.533..	1.266..	17.466	10	2
306	16.53	5.133..	2.066..	23.733	8	2
307	7.165	3.866..	1.433..	12.464	3	2
308	9.665	4.866	1.933	16.46	5	2
309	3.464	2.732	0.866..	7.062	4	2
310	6.069	2.734	0.867	9.670	7	2
311	7.0	3.0	1.0	11.0	7	2
312	12.0	9.0	4.0	25.0	3	2
313	7.665	4.06..	1.533	13.26	5	2
314	7.5	4.0	1.5	13.0	5	2
315	18.928	5.732	2.366..	17.03	8	2
316	10.78	4.08	1.54	16.40	7	2
317	11.2	4.2	1.60	17.0	7	2
318	4.8	5.8	2.4	13.0	2	2
319	12.0	7.0	6.0	25.0	2	2
320	9.0	7.0	3.0	19.0	3	2
321	6.0	5.0	2.0	13.0	3	2
322	7.0	8.0	3.5	18.5	2	2

Alle diese Messungen sind mehrere Male vorgenommen worden und das Mittel der zusammengehörigen Messungen wurde erst zur Berechnung benützt. Daraus erklären sich die vielen Decimalstellen, die man begreiflicher Weise durch eine einzige Messung nicht hätte erhalten können. Ich kann somit die Genauigkeit der Angaben verbürgen und glaube hiermit auch die Frage entschieden zu haben, ob eine solche Erweiterung eines Markraumes ohne entsprechende Breitenzunahme der umgebenden Ringe bestehe oder nicht. Es wird hieraus fast unzweifelhaft, dass alle jene Combinationen, die ich in den obigen Tabellen nach dem Wachsthumscoefficienten 4 berechnete, eigentlich nach dem Coefficienten 2 berechnet werden sollen.

Man wird nach diesem keinen Augenblick mehr anstehen, jene Erklärungsart, wornach der Markraum unabhängig von den umgebenden Knochenwällen sich vergrössert, auch auf die Marksysteme der Knochen zu übertragen. Ein Blick auf die vorhergehende Tafel reicht hin um zu zeigen, dass an den Knorpelcombinationen selbst an der Ossificationsgrenze (denn bis zu dieser wurden die Messungen verfolgt) die Weite des Markraumes, doch noch keine besondere absolute Grösse erreiche, so ist nach obiger Tabelle die gewöhnliche Grenze 20, und nur in einem Falle erhebt sie sich über 26. Nun ist aber diese Weitenzunahme selbst mit eintretender Verknöcherung noch nicht beendet, sie schreitet vielmehr in einem noch bedeutenderen Maasse als dem eben angeführten fort, um dann wieder einer anderen Form Platz zu machen. Dies in einigen Beispielen zu zeigen ist die Aufgabe der

Tabelle VI.

Zahl der Beobachtung	Lumen des Markraumes	Doppelte Breite		Total-Summe	Vergrösserungs-Coefficient	Werth von n
		des Kernwalles	des äussern Walles			
323	103·0	21·6	20·6	145·2	5	3
324	182·0	27·0	26·0	235·0	7	3
325	108·0	37·0	36·0	181·0	3	3
326	160·0	23·9	22·9	205·1	7	3
327	34·5	12·5	11·5	58·5	3	3
328	178·0	23·25	22·25	223·5	8	3
329	18·3	14·05	3·05	25·4	6	3
330	22·54	4·22	3·22	29·98	7	3
331	33·15	6·625	5·625	46·000	6	3

Zahl der Beobachtung	Lumen des Mark- raumes	Doppelte Breite		Total- Summe	Vergrösse- rungs- Coëfficient	Werth von "
		des Kernwalles	des äussern Walles			
332	114·0	20·0	19·0	153·0	7	3
333	75·0	19·75	18·75	113·5	4	3
334	36·5	6·21	5·21	47·92	7	3
335	158·1	27·35	26·35	211·8	6	3
336	268·0	17·75	16·75	302·5	16	3
337	55·0	14·75	13·75	83·5	4	3
338	27·0	10·0	9·0	46·0	3	3
339	132·5	34·125	33·125	199·75	4	3
340	57·0	20·0	19·0	96·0	3	3
341	9·56	10·56	4·78	24·9	2	2
342	16·0	17·0	8·0	41·0	2	2
343	54·0	55·0	27·0	136·0	2	2
344	13·2	14·2	6·6	34·0	2	2
345	82·0	42·0	20·5	144·5	4	2
346	162·06	30·46··	14·73··	207·3	11	2
347	104·0	35·6··	17·33··	156·9··	6	2
348	65·0	44·33··	21·66··	131·0	3	2
349	377·0	30·0	29·0	436·0	13	3
350	58·0	30·0	29·0	117·0	2	3
351	102·0	35·0	34·0	171·0	3	3
352	165·0	31·0	15·0	211·0	11	2
353	161·0	33·26	16·13	210·39	10	2
354	43·6	44·6	21·8	110·0	2	2
355	12·33	5·932	2·466	20·73	5	2
356	12·0	4·0	3·0	19·0	4	3
357	18·0	10·0	9·0	37·0	2	3

Die Bezeichnungen in dieser Tabelle sind aus dem Vorhergehenden zur Genüge bekannt. In Betreff der Beobachtungsfehler habe ich hinzuzufügen, dass sie in keinem Falle die angenommene Fehlengrenze übersteigen, indem bei der Vornahme der Messung die grösste Behutsamkeit angewendet wurde.

Eine kurze Ueberlegung wird hinreichen, um begreiflich zu machen, dass die grösseren dieser Markräume nur der spongiösen Substanz eigen sein können, während die kleineren derselben ohne Unterschied beiden Substanzen des Knochens angehören.

Im Uebrigen ist dieser Weg, den die Natur einschlägt, um die Markräume zu vergrössern keineswegs der einzige oder der häufigste, sie befolgt vielmehr ungleich öfter eine andere Methode, die sich wieder streng auf das ursprüngliche Combinationsgesetz und Wachsthumsgesetz der Zellen zurückführen lässt. Bisher wurde nämlich, behufs der leichteren Darstellung angenommen, dass nur Zellen mit centralständigem Kerne sich combiniren, eine

Annahme, die zwar, wie die vorhergegangenen Untersuchungen zeigen, häufig gering bestätigt wurde, zu der jedoch durchaus keine weitere innere Nöthigung vorhanden war. Vielmehr erscheint es wahrscheinlich, dass die Natur ihre Wirksamkeit nicht in so enge Grenzen einschränken lässt, sondern von dem einmal befolgten Gesetze vielfache Anwendungen macht. In meinen früheren Untersuchungen über das Wachsthumsgesetz der Zellen hatte ich Gelegenheit uni- und bipolare Zellen, gleich- und widersinnige Combinationen der verschiedensten Art zu beobachten; dass sich diese Fälle bei den Knorpeln wiederholen würden, konnte mit der grössten Wahrscheinlichkeit geschlossen werden. Hieraus ergaben sich aber nicht bloss andere Formen der Knorpelcombinationen, sondern auch andere Verhältnisse der Haupttheile der Combinationen. War z. B. die Combination eine widersinnige im Maximo, so lagen die Kerne an den entgegengesetzten Wänden beider Zellen, (Fig. 9) dann entwickelte sich keine äussere Zone, sondern nur die Kernzone und das ganze grosse Intervall zwischen den inneren Rändern beider Kerne wurde nun zur Bildung einer Markhöhle verwendet. Um bei einem Falle stehen zu bleiben: War die Breite des Kernes 3, so bildete sie sich zur Kernzone von derselben Breite, während für den Wachstums-Exponenten 3 die Weite des Markraumes 10, für den Wachstums-Exponenten 2 die Weite des Markraumes 5 beträgt. Ich habe in den vorhergehenden 2 Tabellen mehrere Fälle mitgetheilt, bei denen ich für den Wachstumscoefficienten 3, die Vergrösserungscoefficienten 2 und 4 fand, und es wäre die Frage wohl erlaubt, ob die dort gegebene Erklärung die richtige sei, oder ob nicht vielmehr die angedeuteten Verhältnisse am einfachsten aus der widersinnigen Zellencombination erklärt werden konnten. Denn halten wir den beispielsweise angeführten Fall fest, so ist die den Markraum 10 umgebende Knochenzone gerade von einer Breite, dass sie in zwei Zonen zerlegt werden kann, von denen die äussere die doppelte Breite 2·5, die innere die doppelte Breite 3·5 besitzt. Dies ist aber genau das Verhältniss der Kernzone zur äusseren Zone nach dem Wachstumscoefficienten 3 berechnet; beträgt nun die Breite des Markraumes 10, so ergäbe dies das Vierfache des äusseren Knochenwalles, und mithin nach der in der obigen Tabelle eingeführten Erklärungs- und Benennungsart einen Vergrösserungscoefficienten 4.

Die Zulässigkeit dieser Erklärungsweise ist gewiss für manche Fälle nicht in Abrede zu stellen, aber sie ist gewiss nicht die einzige und sicherlich hat die oben gegebene ebenso viele Ansprüche auf Geltung, denn es kommen nach den vorhergehenden Tabellen auch andere Vergrößerungscoefficienten als 2 und 4 vor, ja diese letzteren bilden sogar eine ersichtliche Minderheit.

Nun wird es übrigens doch nothwendig sein, auch die übrigen Arten einer Combination einer Untersuchung zu unterwerfen, um die aus ihnen hervorgehenden Verhältnisszahlen kennen zu lernen, dabei setze ich immer voraus, dass die combinirten Zellen und Kerne einerlei Dimensionen besitzen, weil, wenn dies nicht der Fall ist, die Aufstellung einer allgemeinen Formel nicht möglich wird. Ich werde, um mich deutlicher aussprechen zu können, auch hierbei einen concreten Fall wählen und benütze das schon oft gebrauchte Beispiel mit der Kernbreite 3, hier-nach ergeben sich für die Wachsthumscoefficienten 2 und 3 folgende Fälle.

A. Wachsthumscoefficient 3.

a) gleichsinnige Combinationen α . mit zwei randständigen Kernen (Fig. 6), hier ist der Knochenwall unsymmetrisch. Breite des Kernwalles 3; Breite des nur an der einen Seite der Combination befindlichen äusseren Walles 5; Weite des Markraumes 5. Verhältniss der 3 Theile: des Markraumes, der Breite des Kernwalles, und des äusseren Walles, ausgedrückt durch die Formel $S=3M+1$; β . gleichsinnige Combinationen mit centralständigen Kernen, Formel $S=3M+1$.

b) doppelsinnige Combination und zwar: α . im Minimo der Entfernung (Fig. 7), Knochenwall unsymmetrisch, an der einen Seite breiter als an der anderen; übrigens ringsum ein Kernwall und ein äusserer Wall: Markraum 2·5, Kernwall doppelte Breite 6; äusserer Wall doppelte Breite 7·5. Setzt man die Weite des Markraumes = 1, so erhält man folgende Zahlen für die einzelnen Theile 1, 2+1, 3, anstatt der für die Urcombination geltenden Reihe 1, 1+1, 1. Ich werde diese Reihen und ähnliche weiter unten anzugebende in folgender Weise ausdrücken: 1 1₁ 1; 1 2₁ 3; β . im Maximo der Entfernung (Fig. 8), der Knochenwall ist unsymmetrisch, indem er an der einen Seite vollkommen fehlt. Lumen 7·5, Kernwall 6, äusserer Knochenwall einseitig 2·5.

c) Widersinnige Combinationen und zwar: im Maximo der Entfernung Lumen 10, Kernwall 6; äusserer Wall fehlt ganz, Stellung symmetrisch. (Fig. 9.) β . widersinnige Combination im Minimo: der doppelte Kernraum bildet sich zum Markraum; der Kernwall fehlt, die Breite des äusseren Knochenwalles ist das doppelte der um Eins verminderten Breite des Markraumes. (Fig. 10.)

Man sieht aus dieser Uebersicht, dass unter diesen Voraussetzungen nur 3 von den Combinationen eine vollkommen symmetrische Anordnung darbieten. Nun sind asymmetrische Marksysteme in jedem Knochen ohne grosse Schwierigkeit aufzufinden, sie bilden aber keineswegs die Mehrzahl der Fälle, so dass daher die angenommene Grundlage zur Erklärung mancher Verhältnisse an den grösstentheils symmetrischen Knochen nicht ausreicht.

B. In ganz ähnlicher Weise werden für den Wachstumscoefficienten 2 die Combinationen bald symmetrisch bald asymmetrisch sich bilden und darnach sind denn auch die Verhältnisszahlen verschieden. Man erhält hier folgende Fälle:

a) gleichsinnige Combination mit randständigem Kerne, asymmetrisch; Aussenwall, nur an einer Seite: Lumen 2.5 oder $1\ 2_1\ 1$;

b) gleichsinnige Combination mit centralständigen Kernen symmetrisch; dieselbe Formel wie bei a.

c) doppelsinnige Combinationen im Maximo, unsymmetrisch: Lumen 3.75, doppelter Kernwall 6, einseitiger Aussenwall 1.25;

d) doppelsinnige Combination im Minimo unsymmetrisch: Lumen 1.25 doppelter Kernwall 6, einseitiger Aussenwall 3.75 oder $1\ 4_1\ 3$.

e) widersinnige Combinationen im Maximo, symmetrisch ohne Aussenwall, Markraum 50, Kernwall 60 oder $1\ 1_1$.

f) widersinnige Combinationen im Minimo, symmetrisch; der Kernraum ist Markraum geworden, Kernwall fehlt; Markraum 6, Aussenwall 5.

Eine andere Art von Asymmetrie könnte dadurch bedingt werden, dass die zwei miteinander zu einem ganzen verbundenen Zellen verschiedene Wachsthumsgesetze befolgen. So wäre es möglich, dass die eine Zelle mit dem Coefficienten 2, die

andere mit dem Coëfficienten 3, oder die eine sich nach 3, die andere nach 4, oder die eine nach 2, die andere nach 4 entwickelte. Und in allen diesen Fällen, könnten die Combinationen wieder gleichsinnig, doppelsinnig oder widersinnig sein, so dass hier die Natur eine reiche Auswahl hat. Wir wollen sehen ob sie von derselben Gebrauch macht.

Nimmt man hier zuerst die Coëfficienten 2 und 3 und wendet man sie auf 2 combinirte Zellen mit gleich grossen Kernen an, so ist die Breite der einen Zelle 5·5 für einen Kern 3; die Breite der anderen Zelle unter derselben Voraussetzung 8. Diese Combination liefert nur in 3 Fällen ein vollkommen symmetrisches Marksystem und zwar a in der Stellung einer doppelsinnigen Combination im Minimo. Hat nämlich die kleinere Zelle einen randständigen, die grössere einen mittelständigen Kern, so liegt an der kleinen Zelle nach Aussen eine Zellenbreite = 2·5 ebensoviel an der grösseren Zelle; zwischen beiden Kernen aber noch der 2. Antheil der grösseren Zelle = 2·5 und man erhält nun Lumen 2·5; doppelte Breite des Kernwalles = 6; doppelte Breite des äusseren Walles = 5·0 oder $1\ 2_1\ 2$. Dass diese symmetrische Anordnung öfter vorkömmt, wird bald besprochen werden. In den beiden anderen symmetrischen Stellungen, die aus den beiden widersinnigen Combinationen stammen, giebt es wieder entweder keinen Kernwall oder keinen äusseren Wall und das Verhältniss zwischen dem Markraume und der doppelten Breite des Knochenwalles wird wie $2x+1 : 3y$ oder umgekehrt.

Auch für die Coëfficienten 3 und 4 giebt es ähnliche symmetrische Combinationen. So liefert die doppelsinnige Combination im Minimo ein vollkommen symmetrisches Marksystem, dem folgende Verhältnisse zukommen. Lumen 2·5, doppelte Breite des Kernwalles 6, doppelte Breite des äusseren Walles 10 oder $1\ 2_1\ 4$.

Endlich finden wir auch für die Coëfficienten 2 und 4 drei symmetrische Kernstellungen. Jenes symmetrische Marksystem, das aus der doppelsinnigen Combination im Minimo daraus hervorgeht, hat die Verhältnisszahlen $1\ 1_1\ 1$, mithin wieder Form und Verhältnisse der Urcombinationen mit dem Wachstumscoëfficienten 3.

So hatten wir daher für vollständige und symmetrische Marksysteme (mit Kern- und äusserem Walle) folgende Formeln erhalten: *a.* 1 1₁ 1; *b.* 1 2₁ 1; *c.* 1 2₁ 2; . 1 2₁ 4. Zu diesen kommen noch die verschiedenen symmetrischen jedoch unvollständigen Systeme (d. h. solche mit mangelndem Kernwalle oder äusserem Walle) und für diese folgende Formeln: *a.* : 1, 1 oder *b.* : 1, 2 oder *c.* : 2, 3 u. s. f. und nun wird man es begreifen, dass sich aus einem einfachen Combinationsgesetze, abgesehen von anderen noch zu erwähnenden Fällen, eine solche Mannigfaltigkeit der Formen und der Verhältnisse ganz symmetrischer Marksysteme heraus stellt, dass an ein Auffinden des Bildungsgesetzes derselben, ohne vorausgegangene Kenntniss des Wachsthumsgesetzes der Zellen, nicht zu denken gewesen wäre.

Bevor ich weiter gehe, muss ich noch die Bildung der unvollkommenen Marksysteme in Kürze erwähnen. Nach dem Obigen sind zwei Arten derselben, solche nämlich mit einem Kernwalle und solche ohne denselben, wo mithin die beiden aneinander stossenden Kernräume zu den Markräumen werden. Die ersteren bilden sich ganz in der oben weitläufig auseinandergesetzten Art um, die letzten dagegen verdienen hier einer kurzen Erwähnung.

Die beiden mit einander verschmolzenen Kerne wachsen in dem durch die Formel $S = m M + 1$ angegebenen Verhältnisse eine Zeit lang fort, ohne dass eine bedeutende Veränderung sonst in ihnen wahrzunehmen wäre. Nach einiger Zeit sieht man in ihnen Kerne sich entwickeln von runder Form und scharfer Begrenzung, deren Zahl einerseits durch ihre Grösse, andererseits durch die Weite des ganzen Markraumes bedingt ist. Der ganze Markraum zerfällt nämlich in Räume, welche um diese Kerne herum in einer solchen Weise sich gruppieren, dass jeder Kern zu dem umgebenden Raume sich verhält wie der Kern zur Zelle nach dem Gesetze $Z = n K - (n - 1) 0.5$. Bei weiterer Entwicklung erscheinen nun diese Zellen an ihren gegenseitigen Berührungsflächen abgeplattet und daher ihre Formen mannigfaltig verändert, die Grenzen der einzelnen Zellen aber immer deutlich erkennbar.

Die so gebildeten Kerne und Zellen scheinen nur vergängliche Gebilde darzustellen, die bei der völligen Entwicklung der

Knochensubstanz wieder resorbirt oder zu Markzellen umgeformt werden; der den Markraum umgebende Wall geht die im Früheren bereits mitgetheilte Veränderung, nämlich das Zerfallen in concentrische Ringe u. s. w., durch, bis er endlich zum festen Knochengewebe erstarrt.

Ich kehre nun wieder zu den früher abgebrochenen Untersuchungen zurück.

Die Annahme regelmässiger Combinationen hat uns eine Reihe von Verhältnissen ergeben, die durch eine bestimmte Formel ausgedrückt werden konnten. Auf solche Combinationen stiess ich auch bei der Untersuchung anderer Gewebe; die Stellung der Kerne war an bestimmte Gesetze gebunden; doch schon bei den cylinderartigen Zellen ward die regelmässige Kernstellung nicht mehr in dem Grade eingehalten, wie bei anderen Geweben. Bei den Knorpelzellen ist die Kernstellung immerhin im Allgemeinen eine regelrechte; doch kommen unter vielen Fällen auch mehrere vor, bei welchen, unbeschadet der Allgemeingiltigkeit des Wachthumsgesetzes, die Regelmässigkeit der Kernstellung nicht mehr eingehalten war. Combiniren sich derartige Zellen, so müssen sich nothwendiger Weise andere als die bisher berührten Gesetze geltend machen. Diese durch eine allgemeine Formel anzugeben, wäre ebensowohl überflüssig als unmöglich, aber gewisse Rahmen lassen sich im Allgemeinen entwerfen, in welche die vorgefundenen Fälle mit Leichtigkeit eingepasst werden können. So könnte man z. B. von der Annahme ausgehen, dass die Kerne der 2 mit einander combinirten Zellen, wenn sie auch nicht regelrecht stehen, doch ganz symmetrisch zu beiden Seiten der Berührungslinie lagern — eine Annahme, die durch das Folgende ganz gerechtfertigt erscheinen wird, — und dann für verschiedene Entfernungen beider Kerne von einander die Verhältnisse des Markraumes zu den Knochenwällen berechnen und durch eine Formel ausdrücken, um dieselbe auf vorkommende Fälle empirisch anzuwenden. Je mehr solche Berechnungen gemacht werden, desto besser, desto bequemer die Einreihung der gefundenen Fälle; doch hat mich die Erfahrung gelehrt, dass es für viele Fälle genügt, den Raum einer Zelle in 4 Theile abzutheilen, die Entfernung der Kerne allmählich von Innen nach Aussen um diese Grösse zu verändern

und auf diese Art die Raumverhältnisse zu bestimmen. Doch kann auch eine Methode angegeben werden, nach der es, da nun die Entwicklung des Knochen-Marksystems auf ein allgemeines Gesetz bereits zurückgeführt, und letzteres mit hinreichender Genauigkeit durch Induction festgestellt worden, leicht wird, in einem vorkommenden Falle aus der gemessenen Grösse eines Markraumes und der gemessenen Grösse des ganzen Marksystemes die Breite des Kernwalles und jene des äusseren Knochenwalles zu bestimmen. Hiezu führen folgende Betrachtungen.

Angenommen, der Wachsthumscoefficient zweier combinirten Zellen sei 3, die Combination selbst eine Urcombination, so ist der Markraum gleich der doppelten Breite des äusseren Walles, und gleich der doppelten Breite des Kernwalles minus der Einheit. Zieht man daher von dem gegebenen Durchmesser eines Marksystemes die Einheit ab, und theilt man den Rest durch 3, so ist der so erhaltene Quotient der Durchmesser des Markraumes oder auch gleich der doppelten Breite des äusseren Walles, und der Quotient plus der Einheit gleich der doppelten Breite des Kernwalles. Wäre z. B. die gegebene Durchmessergrösse = 16, so erhielte man $\frac{15}{3} = 5$ und hätte sonach folgendes Verhältniss: Durchmesser des Lumens = 5, doppelte Breite des Kernwalles 6; doppelte Breite des äusseren Walles 5. Denkt man sich nun die Stellung des Kernes nicht mehr central, sondern bald mehr dem anderen Kerne genähert, bald mehr von demselben entfernt, und dies an den beiden Kernen in völlig gleicher Weise, so wird hierdurch die Breite des Marksystemes nicht im geringsten verändert, aber das Verhältniss zwischen der Weite des Markraumes und der Breite der umgebenden Knochenwälle ist ein ganz anderes geworden; der Markraum erscheint daher verhältnissmässig bald weiter bald enger, je nachdem die ursprüngliche Kernstellung selbst eine grössere oder geringere Entfernung darbot. Was sonach der Markraum an Grösse gewinnt, das verlieren unter den genannten Voraussetzungen die Knochenwälle und da der Kernwall nur eine Ortsveränderung, aber nicht eine Breitereveränderung zulässt, so geschieht die Vergrösserung des Markraumes einfach auf Kosten des äusseren Walles. Kennt man daher die Breite des Markraumes und die Breite des ganzen Marksystemes, so ist es leicht (eine symmetrische Stellung der Theile des Marksystemes vorausgesetzt), aus den beiden be-

kannten Grössen die Breite des Kernwalles und des äusseren Walles zu finden. Man zieht von dem bekannten Durchmesser des Marksystems die Einheit ab, theilt den Rest durch 3 und erhält als Quotienten den Durchmesser des Markraumes jener Urcombination, zu der der um die Einheit vermehrte Quotient als doppelter Kernwall gehört. Vermehrt oder vermindert man den Quotienten um so viel, dass er dem unmittelbar gemessenen Durchmesser des Markraumes gleich ist, so giebt derselbe Quotient, um dieselbe Zahl vermindert oder vermehrt, die doppelte Breite des äusseren Walles. Z. B. Die gemessene Breite des Markraumes betrage 8, jene des ganzen Marksystems 19, so erhält man $\frac{19-1}{3} = 6$ für die Breite des Markraumes, oder die doppelte Breite des äusseren Walles einer Urcombination mit einem Kernwalle von der (doppelten) Breite 7; der wirklich gemessene Markraum ist aber um 2 Einheiten grösser als jener der Urcombination, folglich muss der äussere Wall um eben soviel kleiner sein als in der Urcombination und man erhält sonach im vorliegenden Fall folgende Verhältnisszahlen: Lumen 8, Kernwall 7, Aussenwall 4. Das Lumen ist hier doppelt so gross wie der äussere Wall, und doch ist dieser Fall von jenem der 5. Tabelle, mit welchem er Aehnlichkeit hat, durch das Verhältniss zwischen dem Kernwall und dem Aussenwall gänzlich verschieden.

Natürlich ist eine ähnliche Berechnung auch für den Coëfficienten 2 anwendbar. Wir hatten im Vorhergehenden für diesen Coëfficienten die allgemeine Formel erhalten: 1 2, 1. Hieraus ergibt sich folgende Berechnungsweise der aus der Urcombination abgeleiteten Stellungen. Man theile die gefundene Breite des ganzen Marksystems, nachdem man von derselben die Einheit abgezogen, durch 4; der so gefundene Quotient ist die Breite des Markraumes und die doppelte Breite des äusseren Walles der Urcombination; Vergleicht man diesen Quotienten mit der gefundenen Weite des Markraumes der abgeleiteten Combination, und vermehrt oder vermindert man ihn um so viele Einheiten, dass er dem gemessenen Markraume gleich ist, so hat man den Aussenwall der Urcombinationen um die gleiche Grösse zu vermindern oder zu vermehren, wodurch man den Aussenwall der abgeleiteten Combination erhält. Das Doppelte des berechneten Quotienten um die Einheit vermehrt, giebt die doppelte Breite des Kernwalles. Im obigen Beispiele wäre $\frac{19-1}{4} = 4.5$ der Markraum der Urcombination. Da aber der gemessene Mark-

raum 8 beträgt, so ist der Berechnete um 3·5 zu vermehren, wodurch man durch Subtraction für den doppelten Aussenwall 1·0 erhält; die doppelte Breite des Kernwalles beträgt hienach 10.

Man sieht übrigens aus dem Ganzen, dass das Aufsuchen dieser Verhältnisse eine unbestimmte Aufgabe ist, indem man dabei über den wirklichen Werth des Coëfficienten n ganz im Ungewissen ist, es sei denn, dass man nicht ein vollendetes Marksystem, sondern eine Knorpelcombination vor sich habe. An Knorpelcombinationen habe ich nun aber auch die Richtigkeit der oben angenommenen Erklärung und Berechnungsmethode nachgewiesen, so dass über deren Anwendbarkeit kein Zweifel mehr sein kann, wenngleich in einem concreten Falle, wo es sich um die Berechnung eines Knochensystems handelt, die Wahl des Coëfficienten n von der Willkür des Untersuchers abhängt. Diese Unbestimmtheit benimmt aber der bisher durchgeführten Aufgabe nichts von ihrer allgemeinen Giltigkeit, im Gegentheile ist diese Willkür der Annahme selbst eine sehr beschränkte, in äusserst enge Grenzen eingeschlossen und eben nur unter der Voraussetzung eines allgemeinen Entwicklungsgesetzes gestattet.

Jene eben eingeführte Bestimmungsmethode hat übrigens in sehr vielen Fällen ihre Grenzen, und ist für eine grosse Zahl von Fällen durchaus nicht anwendbar. Dies gilt im Allgemeinen von allen jenen Fällen, in welchen das Lumen des Markraumes das Doppelte des Lumens der Urcombination überschreitet. Z. B. es sei das gefundene Marklumen 15, der Durchmesser des gesamten Marksystems nur 19, so erhält man für den Wachsthscoëfficienten 3 folgende Grössen einer Urcombination: Markraum so wie äusserer Wall 6, Kernwall 7. Nun beträgt aber die gemessene Weite des Markraumes 15, es müsste sonach zur Urcombination 9 hinzugezählt werden, um die Weite des Markraumes der abgeleiteten Combination zu erreichen; zu dieser Raumbedeckung reicht aber die Grösse des äusseren Walles nicht hin, da diese nur 6 beträgt, und obige Auflösung ist daher in diesem Sinne unmöglich. Aehnliches würde um so eher für den Coëfficienten 2 gelten und nur dadurch könnte man diese Methode auf alle Fälle ausdehnen, wenn man dem Coëfficienten n die verschiedensten und namentlich bedeutend höheren Werthe gäbe, was aber der Erfahrung zu Folge durchaus nicht statthaft ist.

Werfen wir nach diesem noch einen Blick auf die 5. und 6. Tabelle. Die Vergrösserungcoëfficienten reichen dort von 2 bis 20.

Alle Combinationen, bei denen der Vergrößerungscoefficient für $n=3$ die Zahl 3 überschreitet, sind nach der eben angegebenen Methode nicht berechenbar, nur jene mit dem Vergrößerungscoefficienten 4 wären, dieser Methode zufolge, noch geeignet unvollständige Marksysteme zu liefern. So wäre z. B. im Falle 379 der Markraum $10\cdot4$ gerade das Doppelte des Markraumes der Urcombination, was natürlich nur durch völliges Schwinden des äusseren Walles geschehen könnte. Wenn ich demnach diese Fälle, sowie alle jene mit dem Vergrößerungscoefficienten 3 und 2, nach einer anderen Methode berechnete, so geschah dies, weil ich mich dabei einerseits auf unmittelbare Messungen stützen konnte, andererseits deswegen, weil die nach der anderen Methode gewonnenen Resultate viel befriedigender ausfallen, indem sie Verhältnisse aufzeigen, deren Einfachheit sie zur Annahme besonders empfiehlt. Gleiches würde übrigens auch von den Fällen gelten, in welchen der Werth $n=2$ angenommen wurde. Sie können als abgeleitete Combinationen höchstens bis zu dem Vergrößerungscoefficienten 3 berechnet werden; über 3 hinaus geben sie keinen reellen Werth mehr, unter 3, d. h. mit dem Vergrößerungscoefficienten 2, wäre eine doppelte Berechnungsmethode auf sie anwendbar, entweder jene der Ableitung aus den Urcombinationen, oder jene, welche auf der Annahme einer überschnellen Vergrößerung des Markraumes einer Urcombination fusst. Letztere Methode hat wieder den Vorzug der Einfachheit der Verhältnisse für sich. Diese Einfachheit ist auch der Grund, warum die in Rede stehenden Fälle nach dem Coefficienten 2 und nicht nach 3 berechnet wurden, ungeachtet sie auch mit letzterem noch ein bestimmtes Resultat ergeben hätten.

Fassen wir nun alle Fälle zusammen und suchen wir eine Methode, nach der wir die Verhältnisse der einzelnen Raumtheile eines Marksystems mit einigem Anspruche auf Wahrscheinlichkeit bestimmen können, so dürfte sich folgende am meisten empfehlen: Man wird zuerst untersuchen, ob der um die Einheit verminderte Durchmesser des zu bestimmenden Marksystems ein ganzes Vielfache des Durchmessers seines Markraumes ist. Ist dies der Fall, so ist die untersuchte Combination eine Urcombination, und man erhält den Wachsthumcoefficienten, wenn man den Durchmesser des Marksystems um die Einheit vermindert, und den Rest durch den Durchmesser des Markraumes theilt. Ist aber der um

Eins verminderte Durchmesser des Marksystems durch den Durchmesser des Markraumes nicht ohne Rest theilbar, so versuche man vorerst, ob der Markraum nicht vielleicht ein ganzes Multiplum des ursprünglichen Markraumes eine Urcombination darstellt. Zu diesem Behufe verfähre man in folgender Weise: Man ziehe den Durchmesser des Markraumes vom Durchmesser des Marksystems ab und untersuche den Rest. Ist dieser um die Einheit grösser als der Durchmesser des Markraumes, dann gehört wahrscheinlich die gefundene Combination zu jenen mit dem Coëfficienten 3, und der Markraum hat das Doppelte seines ihm nach der Formel zukommenden Durchmessers. Durch Subtraction von 1 und Division des Restes mit der Zahl 2, erhält man den äusseren Wall und daraus den ursprünglichen Markraum. Zeigt sich aber der erhaltene Rest nicht in dieser Weise beschaffen, so verfährt man am sichersten in folgender Art: Man vermindere den gefundenen Rest um die Einheit und theile ihn sodann durch 2, den dadurch erhaltenen Quotienten vergleiche man mit dem Markraume, und stellt Letzterer ein genaues ganzes Multiplum des gefundenen Quotienten dar, so ist die Combination von dem Wachsthumcoëfficienten 3, und mittelst Division des gemessenen Markraumes durch den gefundenen Quotienten erhält man den Vergrösserungcoëfficienten. Führt aber die Division des Restes durch 2 zu keinem Resultate, so versuche man die Division durch 3. Zeigt sich bei Vergleichung, dass der gefundene Quotient ein Theiler des gemessenen Durchmessers vom Markraume ist, so ist die Combination von dem Wachsthumcoëfficienten 2 und man erhält den Vergrösserungcoëfficienten, wenn man den gemessenen Durchmesser des Markraumes durch den gefundenen Quotienten theilt. — Führt auch diese Methode zu keinem Ziele, so versuche man die oben letztangebene. Zu diesem Zwecke vermindert man den gemessenen Durchmesser des Marksystems um die Einheit, und theilt den so gefundenen Rest durch 3 oder 4, je nachdem man vermuthet, dass der Wachsthumcoëfficient 3 oder 2 sei, oder auch der Rest leichter entweder durch 3 oder durch 4 theilbar ist. Den gefundenen Quotienten vergleicht man dann mit dem gemessenen Durchmesser des Markraumes. Man vermehrt oder vermindert ihn um jene Grösse, um welche er kleiner oder grösser ist, als der unmittelbar gemessene Markraum und erhält als Summe oder Rest die doppelte

Breite des äusseren Walles zu der die Breite des Kernwalles mit Leichtigkeit gefunden werden kann. Ueberhaupt ist in allen den gegebenen Fällen die Bestimmung des Kernwalles aus dem berechneten äusseren Walle vorzunehmen und kann auch immer ohne Anstand durch einfaches Hinzuzählen der Einheit geschehen.

Es wird nun nicht überflüssig sein, die angegebenen Fälle durch Beispiele näher zu beleuchten.

Man habe eine symmetrische Combination gefunden, deren Gesamtdurchmesser 21, deren Markraum 10 beträgt. Zieht man die letztere Grösse von der ersten ab, so erhält man 11. Vergleicht man diesen Rest mit dem Durchmesser des Markraumes, so sieht man, dass letzterer um die Einheit kleiner ist, und die Combination gehört daher zum Wachsthumscoefficienten 3. Die Verhältnisse der einzelnen Raumtheile sind demnach: Markraum 10, doppelte Breite des Kernwalles 6, doppelte Breite des äusseren Walles 5. Der Art nach, ist die Combination eine Urcombination, mit übergrosser Entwicklung des Markraumes (einem Vergrösserungscoefficienten = 2.)

Hat man aber ein System gefunden, dessen Durchmesser 19, dessen Markraum 9 beträgt, so erhält man durch die angegebene Subtraction mithin wieder einen Rest, der um die Einheit grösser ist als der gemessene Markraum; theilt man aber $10 - 1$ durch 2, so erhält man 4.5 als doppelte Breite des Aussenwalles und die Combination ist daher vom Coefficienten 3, mit dem Vergrösserungscoefficienten 2. Versucht man aber den um die Einheit verminderten Durchmesser des Marksystems durch 3 zu theilen, so giebt dies 6. Vergleicht man diesen Quotienten mit dem gefundenen Durchmesser des Markraumes, so zeigt er sich um 3 zu klein; zieht man sonach diese Grösse 3 von jenem Quotienten ab, so erhält man 3 und die Verhältnisse gestalten sich in folgender Weise: Markraum 9, doppelter Kernwall 7, doppelter Aussenwall 3. Nun ist aber $7 = 2 \times 3$ plus der Einheit; $9 = 3 \times 3$, folglich gehört die gefundene Combination zum Coefficienten 2, sie ist eine Urcombination mit übergrosser Entwicklung des Markraumes, ihr Vergrösserungscoefficient ist 3. Zu demselben Resultate wäre man auch in folgender Weise gelangt: Nimmt man vom obigen Reste die Einheit weg, und theilt diesen neuen Rest durch 3, folglich $\frac{10-1}{3} = 3$, so erhält

man unmittelbar die doppelte Breite des äusseren Knochenwalles für den Wachsthumscoefficienten 2, woraus sich die Breite des Kernwalles zu $7 = 3 \times 2$ plus der Einheit und eben so der Vergrösserungscoefficient des Markraumes mit grösster Leichtigkeit ergibt.

Für andere Verhältnisse ist die Berechnungs-Methode durch entsprechende Beispiele bereits erläutert worden, und ausserdem kommen noch mehrere Fälle weiter unten zur Untersuchung.

Durch dieses einfache Mittel, nämlich eine nicht centrale Kernstellung in den ursprünglich combinirten Zellen, weiss die Natur die grössten Wirkungen zu erzielen. Sind die Kerne vom Centrum mehr nach auswärts hin gerichtet, so erfolgt eine bedeutende Vergrösserung des Markraumes des Knochens, und der Durchmesser dieses Raumes ist nicht mehr der dritte oder vierte Theil des Durchmessers des ganzen Marksystems, sondern vielleicht die Hälfte, $\frac{3}{4}$ desselben oder noch mehr, und ein derartiges Marksystem gehört der schwammigen Substanz an; war die Stellung der beiden Kerne mehr gegen die gemeinschaftliche Berührungslinie hingerichtet, so wird der Markraum sehr verkleinert, ist selbst kleiner als der dritte oder vierte Theil des ganzen Systemes und dieses letztere eignet sich dadurch besonders für die compacte Rinde des Knochens. Ich werde daher im Folgenden die Beobachtungen, die ich noch mitzutheilen habe, auch von diesem doppelten Standpunkte aus betrachten, und eine Abtheilung der beobachteten Fälle unter dem Namen „*excentrische Entwicklung*,” die andere mit dem Namen „*concentrische Entwicklung*” oder Bildung vorlegen.

Das bisher Gesagte, gilt übrigens nur von dem vollkommen symmetrischen Baue der Marksysteme. Eine asymmetrische Entwicklung derselben, ist nicht nur möglich, sondern in der That auch wirklich zu beobachten. Ihr genaues Studium ist aber eben durch die mangelnde Symmetrie bedeutend erschwert, erscheint aber auch zum Theile überflüssig, denn wo eine solche Gesetzmässigkeit in der Entwicklung symmetrischer Theile herrscht, da ist die Voraussetzung wohl ganz gegründet, dass dieselben Gesetze auch bei unsymmetrischer Zusammensetzung und unsymmetrischer Entwicklung überhaupt gelten.

Eine kurze Betrachtung wird hinreichen, darzuthun, dass die abgeleiteten Combinationen bei fortdauerndem Wachstume auch fortwährend die Verhältnisse ihrer einzelnen Raumabtheilungen

ändern. Ich will dies an einem Beispiele zeigen. Gesetzt, eine ursprüngliche Combination zeige folgende Anordnung: Markraum 8, Kernring 6, äusserer Ring 2, so werden, wenn der Kern in jeder Zelle um die Einheit wächst, sich die Raumverhältnisse in folgender Art gestalten: 10, 8, 4. Bei einer abermaligen Vergrösserung um die Einheit hat man 12, 10, 6; dann 14, 12, 8, so dass die Differenzen zwar immer dieselben bleiben, der kleinere Raum der Zelle aber verhältnissmässig mehr wächst als der grosse.

Ich theile nun in Folgendem eine Reihe von Fällen, sowohl concentrischer als excentrischer Entwicklung der Combinationen mit, und beginne mit einer Sammlung von Knorpel-Combinationen, bei welchen die Verhältnisse der drei Abtheilungen des Markraumes, des Kernringes, des äusseren Ringes nicht bloss berechnet, sondern in den meisten Fällen in der That gemessen wurden, so dass diese nächstfolgende Uebersicht ganz geeignet ist, die früher gemachten Angaben zu bestätigen. Die Messungen wurden in der bekannten Weise vorgenommen, dass zuerst der Durchmesser des Markraumes, dann der grössere Durchmesser des Kernringes, endlich der Durchmesser der ganzen Combination bestimmt wurde. Durch Subtraction der ersten Grösse von der zweiten, erhielt ich die doppelte Breite des Kernwalles; durch Subtraction der zweiten Grösse von der dritten die doppelte Breite des Aussenwalles. Jede Angabe enthält die Mittelzahlen mehrerer Messungen. Die Messung ist bis auf 0,000002 genau. Die folgende Tabelle zerfällt in zwei Abtheilungen, von denen die erste die excentrische, die zweite die concentrische Entwicklung der Combinationen enthält.

Tabelle VII.

Zahl der Beobachtung	Lumen des Markraumes	doppelte Breite		Total- Summe	Werth von n
		des Kernwalles	des äusseren Walles		
I.					
358	9·0	10·7	0·700	20·4	2
359	10·0	6·93··	1·866··	18·799·	3
360	11·5	7·533	1·566··	20·599··	3
361	8·2	8·566·	6·933·	23·699·	3
362	11·9	7·166··	0·432	19·499··	3
363	14·0	8·066··	0·133··	22·199··	3

Zahl der Beobachtung	Lumen des Markraumes	doppelte Breite		Total- Summe	Werth von n
		des Kernwalles	des äusseren Walles		
364	7.7	5.5	1.3	14.5	3
365	3.8	3.766..	1.732..	92.99	3
366	5.3	6.6	0.3	12.2	2
367	2.85	3.2833..	1.7166..	7.85	3
368	13.4	8.233..	1.066..	22.70	3
369	7.2	7.0	4.8	19.0	3
370	2.6	2.3	0.9	4.9	3
371	3.6	2.8	0	6.4	3
372	2.35	2.533	0.716	5.6	3
373	5.0	4.66..	2.33..	12.0	3
374	7.9	5.5	1.1	14.5	3
375	3.0	10.15	6.15	19.3	2
376	4.0	3.1	0.2	7.3	3
377	9.5	7.33..	3.16..	20.0	3
378	3.7	3.566..	1.433..	8.7	3
379	10.0	6.5	1.0	17.5	3
380	8.2	5.66..	1.12..	15.0	3
381	7.7	5.66..	1.633..	15.0	3
382	7.3	6.166..	3.033..	16.5	3
383	13.4	9.0	2.6	25.0	3
384	13.0	8.66	2.33..	24.0	3
385	8.8	6.533.	2.266..	17.6	3
386	10.4	7.266..	2.133..	19.8	3
387	8.0	5.0	0.	13.0	3
388	5.0	4.0	1.0	10.0	3
389	9.2	5.833..	0.466..	15.5	3
390	14.2	8.33..	0.466..	23.0	3
391	8.7	6.33..	1.96..	17.0	3
392	1.8	4.8	2.0	8.6	2
393	8.5	5.566	0.633.	14.7	3
394	1.4	4.3	1.9	7.6	2
395	7.7	5.033..	0.366..	13.1	3
II.					
396	4.4	5.7	5.0	15.1	3
397	3.3	5.33..	5.366.	14.0	3
398	1.8	5.5	2.7	10.0	2
399	0.8	5.8	8.8	15.4	3
400	3.0	6.45	2.45	11.9	2
401	5.7	7.133..	6.566..	19.4	3
402	8.0	10.50	1.5	20.0	2
403	4.0	5.766..	5.533..	15.3	3
404	2.8	4.650	0.85	8.3	2
405	3.6	6.45	1.85	11.9	2

Diese Angaben mögen zur Bestätigung der angeführten Erklärungsweise um so eher genügen, weil die Genauigkeit, mit der die Messungen ausgeführt und die Uebereinstimmung zwischen Messung und Rechnung in der That jeder Anforderung entspricht.

Bedarf es vielleicht noch einer weiteren Begründung, so liegt diese bei den meisten dieser Fälle in Folgendem: In mehreren der untersuchten Systeme war die Theilung entweder des Kernringes oder des äusseren Ringes, von der oben bereits die Rede war, deutlich zu beobachten. War nun die in der oben stehenden Tabelle angegebene Messung und Rechnung mit dem bestimmten Werthe von n richtig, so musste sich die Breite des (Kern- oder äusseren) Knochenwalles in der Art nach dem Gesetze $Z = nK - (n-1) 0.5$ abtheilen lassen, dass die Theilung des in Rede stehenden Ringes, wie sie beobachtet worden, gerade der Stelle entsprach, an welcher der Rechnung zufolge der innere Rand eines Knochenkörpers sich befinden würde, wenn man die Breite des Kernringes als Breite einer Knochenfaser ansähe, zu der ein Knochenkörper als Kern gehörte. (Fig. 56, 65). Ich habe nun in mehreren Fällen der obigen Tafel, aber auch ausserdem in einigen anderen Fällen, in der That diese Rechnung vorgenommen, die Messung mit der Rechnung verglichen, und bin hiebei zu Resultaten gekommen, die nicht bloss eine Bestätigung der Messung, sondern auch der ganzen theoretischen Grundlage dieser Abhandlung und meiner Arbeit über das Wachsthumsgesetz abgeben. Ich stehe nicht an, diese Berechnungen hier ausführlicher mitzutheilen. Die Methode derselben ist folgende:

Von jedem der geeigneten Gegenstände (wie Fig. 23) werden folgende Maasse genommen; 1. Der Durchmesser des Markraumes; 2. der grössere Durchmesser des inneren Kernringes; 3. der grössere Durchmesser des äusseren Kernringes. Durch Subtraction der Grösse 1 von der Grösse 3 erhält man die doppelte Breite des Kernringes wie bekannt. Diese Breite wird nun in zwei Theile zerlegt. Das Verhältniss dieser beiden Theile zu einander ist verschieden, je nachdem dem Wachstums- Coëfficienten die Werthe 2 oder 3 beigelegt werden. In dem ersten Falle ist der eine Theil um die Einheit kleiner als der zweite; im zweiten Falle dagegen ist ein Theil um das Doppelte minus 2 kleiner als der andere ¹⁾. Es ergeben sich hieraus

¹⁾ Der Grund dieser Berechnung ist folgender: Nimmt man die Breite eines Kernringes als die Breite einer Knorpelzelle an, zu der das sich entwickelnde Knochenkörperchen als Kern gehört, so zerfällt diese Knorpelzelle

folgende Methoden der Berechnung: Für den Coëfficienten $n=2$ vergrössere oder vermindere man die gefundene Kernbreite um 1 und theile die Summe oder den Rest durch 2. Der Quotient giebt dann im ersten Falle den Kernantheil, im zweiten Falle unmittelbar den (Quasi-) Zellenantheil des Kernwalles. Für den Coëfficienten 3. dagegen vermehre oder vermindere man die doppelte Breite des Kernwalles respective um 2 oder 1, und dividire die Summe oder den Rest durch 3. Im ersten Falle erhält man unmittelbar den (doppelten) Kernantheil des Kernwalles (als Knochenfaser betrachtet), in dem 2. Falle dagegen den einfachen Zellenantheil eben dieser Faser, den man dann erst Behufs der weiteren Berechnungen mit 2 multipliciren muss. Z. B. es wäre die doppelte Breite eines Kernwalles $=6$ gefunden, so zerfällt diese nach dem Coëfficienten 2 in 2 Zonen, nämlich 3.5 und 2.5 , nach dem Coëfficienten 3 dagegen in 2 Zonen $2.66 \dots$ und $3.33 \dots$ und die Abtheilung dieser beiden Zonen wird am Präparate deutlich erkennbar sein. Hat man diese Eintheilung vollendet, so untersuche man, ob sie zur gefundenen Messung passt oder nicht. Man wird nämlich das Lumen des Markraumes um die eine der durch die Theilung gefundenen Grössen vermehren und sehen, ob Messung und Rechnung genau stimmen, oder die Differenz nur eine solche ist, dass sie als innerhalb der Fehlergrenze befindlich betrachtet werden kann. Gelingt die Rechnung nicht mit dem einen Coëfficienten, so versuche man den zweiten Werth der Zahl n , und man wird wohl, falls die Messung exact genug vorgenommen worden ist, die Aufgabe zur Zufriedenheit gelöst finden.

Die nachfolgende Tabelle enthält nun einige gemessene und nach dieser Methode berechnete Fälle. In der ersten Spalte findet sich wie bisher die fortlaufende Nummer der Beobachtung. Die zweite Spalte enthält die in der oben angegebenen Art durch Messung gefundene doppelte Breite des Kernwalles. Die

in 2 Theile: den kernhaltigen Theil von der Breite k und den kernlosen Theil von der Breite $k - 0.5$ für $n=2$; oder $2k - 1$ für $n=3$. Da aber im Obigen immer die doppelte Breite des Kernringes genommen wird, so erhält man als Verhältniss zwischen den beiden Theilen wenn $2k=B$ gesetzt wird, für den Coëfficienten $n=2$ die Formel $B:(B-1)$, und für den Werth $n=3$ die Formel $B:2(B-1)$, aus welcher mit grösster Leichtigkeit die obige Berechnungsart abgeleitet werden kann.

dritte Spalte enthält die doppelte Breite der inneren Abtheilung des Kernwalles, wie sie durch Messung und nach geschehener Subtraction des Durchmessers vom Markraume sich herausstellt. In der vierten Spalte ist nun diese Grösse, wie sie durch Rechnung sich ergibt enthalten, während die fünfte Spalte die berechnete doppelte Breite der äusseren Abtheilung des Kernwalles, die sechste Spalte den Werth von n enthält, welcher der Rechnung zu Grunde gelegt wurde. In die letzte Spalte endlich sind die Unterschiede zwischen Messung und Rechnung aufgenommen.

Tabelle VIII.

Zahl der Beob- achtung	Gefunden:		Berechnet:		Werth von n	Unterschied von 2 und 3.
	1.	2.	3.	4.		
	Doppelte Breite	Innere Abtheilung	Innere Abtheilung	Äussere Abtheilung		
	D e s K e r n w a l l e s					
406	6.933	3.0	2.966..	3.966..	2	—0.033..
407	5.33..	2.8	2.88	2.44	3	+0.08
408	8.566..	3.8	3.783..	4.783	2	—0.017
409	5.5	2.4	2.25	3.25	2	—0.15
410	3.566..	2.2	2.283	1.283	2	+0.083
411	6.5	2.5	2.75	3.75	2	+0.25
412	9.3	4.2	4.15	5.15	2	—0.05
413	10.15	6.1	6.1	4.05	3	0.
414	3.1	2.0	2.05	1.05	2	+0.05
415	10.15	4.5	4.575	5.575	2	+0.075
416	6.45	3.7	3.725	2.725	2	+0.025
417	7.2	4.1	4.1	3.1	2	0.
418	5.3	2.9	2.866..	2.433	3	—0.033..
419	4.833..	2.6	2.55..	2.277	3	—0.044..
420	5.0	2.6	2.66..	2.33..	3	—0.066..
421	6.433	3.7	3.716	2.716	2	+0.016
422	10.4	5.8	5.7	4.7	2	—0.10
423	11.3	6.8	6.866..	4.433..	3	+0.066
424	5.25	3.1	3.125	2.125	2	+0.025
425	10.1	5.5	5.55	4.55	2	+0.05
426	6.7	3.7	3.8	2.8	2	+0.1
427	10.0	5.5	5.5	4.5	2	0.
428	7.49	4.2	4.245	3.245	2	+0.045
429	6.533	3.7	3.766..	2.766	2	+0.066
430	10.6	4.2	4.2	6.4	3	0.
431	2.466	1.733	1.733	0.733	2	0.
432	4.1	2.1	2.066	2.033	3	—0.034
433	8.75	4.1	3.875	4.875	2	—0.225

Durchläuft man mit musterndem Blicke diese Tabelle, so trifft man nur einen und zwar den letzten Fall, in welchem der Fehler grösser ist, als die gewöhnliche Grenze; man wird um so

eher geneigt sein, diesen Fehler zu vernachlässigen, wenn ich erwähne, dass ich aus dem Grunde für die Genauigkeit dieser Messung nicht ganz büрге, weil ich, als ich die Messung vornahm, mit der Gesetzmässigkeit der Erscheinung noch nicht bekannt war, und die Messung mehr im Vorbeigehen unternommen hatte.

So ist denn keine der Linien und Streifen, die man an den Combinations-Systemen ossificirender Knorpel findet, bloss zufällig hingestellt oder an einem beliebigen Platze angebracht, sondern jede Linie hat ihre Geltung und ihr Platz ist ihr durch das die organischen Formen genau regelnde Wachsthumsgesetz vorgezeichnet. Noch complicirtere Verhältnisse, als die eben angeführten, lassen sich mit grosser Genauigkeit berechnen, wovon nachstehender Fall ein Beispiel giebt. Ein durch seine Linien und Abtheilungen sehr complicirter Querschnitt einer ossificirenden Knorpel-Combination, der in der Fig. 56 dargestellt ist, wurde auf das Genaueste gemessen. Ich betrachte diese Combination als eine abgeleitete, deren sehr schmaler Markraum die Linie ab (Entfernung der inneren Ränder beider Kerne) zum Maasse hat.

Die Linie ef bezeichnet den grössten Durchmesser des Kernraumes, folglich el und mf die Stelle des ehemaligen Kernes der Knorpelzellen ik war der Durchmesser des ganzen Systemes. In diesen grossen Abtheilungen, verhielten sich die einzelnen Durchmesser wie folgt:

Durchmesser $ab = 0.9$.

Durchmesser $ef = 10.266$

folglich

$ef - ab = 9.366$ der doppelte Kernwall.

Durchmesser $ik = 26.098$

folglich der Aussenwall $ik - ef = 15.82$.

Die Berechnung der einzelnen Räume war mit dem Coëfficienten 3 vorgenommen worden. Zwei von diesen Abtheilungen zerfielen wieder in Unterabtheilungen und zwar war an der inneren Seite des Kernraumes eine solche von der Breite $cd - ab$. Der Aussenring zerfiel abermal in zwei concentrische Ringe, von denen der äusserste wieder ein Knochenkörperchen enthielt und sich durch Farbe (er war fein gekörnt und undurchsichtig) von dem inneren unterschied. Die doppelte Breite des äusseren Ringes wird durch die Linie $ik - gh$ gemessen. Die einzelnen Räume zerfielen sonach in folgende Unterabtheilungen.

Markraum Durchmesser = 0.9 ungetheilt;

doppelter Kernraum	{	Innere Abtheilung des Kernraumes,
		äussere Abtheilung des Kernraumes;
doppelter Aussenwall	{	innere Abtheilung des Aussenwalles,
		mittlere Abtheilung des Aussenwalles,
		äussere Abtheilung des Aussenwalles enthaltend.

Die gemessenen Durchmesser waren:

1. Lumen und innere Abtheilung des Kernes . . . 6.5
2. Lumen und Breite beider Kernräume . . . 10.266
3. Lumen, Breite beider Kerne, doppelter Breite der
inneren Abtheilung des Aussenwalles . . . 15.2
4. Lumen, Breite beider Kerne, doppelte Breite der
inneren, doppelte Breite der mittleren Abtheilung
des Aussenwalles . . . 20.1
5. Ganzes System . . . 26.098

Die Berechnung nach den angeführten Grundsätzen ergab Folgendes: Der doppelte Kernraum 9.366 zerfällt nach dem Coëfficienten $n=3$ in zwei Theile, den Zellentheil = 5.576 und den Kerntheil = 3.788, hiervon bildet der Zellentheil die innere Abtheilung des Kernes in der Figur. Es beträgt sonach der Durchmesser des Markraumes sammt dem doppelten Zellentheile des Kernraumes $0.9 + 5.576 = 6.476$ (A) *cd* der Figur.

Der Durchmesser des Markraumes sammt dem beiderseitigen ganzen Kernraume muss der Rechnung zufolge betragen: $0.9 + 5.576 + 3.788 = 10.264$ (B) *ef* der Figur.

Der Aussenwall besitzt der vorgenommenen Messung zufolge eine doppelte Breite von 15.82, diese zerfällt nach dem Gesetze $Z = nK - (n-1) 0.5$ für $n=3$ in drei Theile: Kerntheil = 5.94; zwei Zellentheile $4.94 + 4.94$. Addirt man sonach $4.94 + B$, d. i. $4.94 + 10.264$, so erhält man 15.204 (C) als den Durchmesser der inneren Abtheilung des Aussenwalles (*gh* der Figur).

$C + 4.94$, d. h. $15.204 + 4.94 = 20.144$ giebt aber den Durchmesser (D) (*lm* der Figur) der mittleren Abtheilung des Aussenwalles.

$D + 5.95$, d. h. $20.144 + 5.95 = 26.094$ ist nach der Rechnung der Durchmesser des Gesamtsystemes (*ik*) der Figur, und am äussersten Ringe muss der Rechnung zufolge ein Knochen-

körper liegen wie es auch die Figur zeigt. Vergleichen wir neue Messung und Rechnung: so ergibt

		die Messung		die Rechnung		eine Differenz
für	<i>ab</i>	. . . 0·9	. . .	—	. . .	—
„	<i>cd</i>	. . . 6·5	. . .	6·477	. . .	0·024
„	<i>ef</i>	. . . 10·266	. . .	10·264	. . .	0·002
„	<i>gh</i>	. . . 15·2	. . .	15·204	. . .	0·004
„	<i>lm</i>	. . . 20·1	. . .	20·144	. . .	0·044
„	<i>ik</i>	. . . 26·098	. . .	26·094	. . .	0·004

eine Genauigkeit, die gewiss hinreicht, um das in Rede stehende Problem für begründet zu halten.

So weit nun meine Untersuchungen reichen, war das Zerfallen in concentrische Ringe meistens ein solches, dass das Knochenkörperchen den Rand oder die Mitte der ihm zugehörigen Knochenfaser einnahm, sich demnach in der Art eines Kernes einer unpolaren oder bipolaren Zelle entwickelte. Ein unregelmässiges Zerfallen in Ringe, respective eine regelwidrige Lage des Kernes fand ich nicht, ungeachtet dieses Vorkommen immer in den Bereich der möglichen Fälle gehört.

Nach diesen genauen Details, mag es fast als überflüssiges Beginnen erscheinen, Knochensysteme hier vorzuführen, die aus abgeleiteten Knorpelcombinationen hervorgehen, und nur der Umstand, dass eine Sammlung hieher gehöriger Fälle nicht leicht vermisst werden kann, wenn meine Arbeit auf Vollständigkeit und Abrundung einigermaßen Anspruch machen soll, mag meiner Weitläufigkeit zur Entschuldigung dienen.

Die folgende Tabelle stellt nun abgeleitete Marksysteme der Knochen dar, die wieder in zwei Reihen geordnet erscheinen. Die erste Reihe enthält die Marksysteme mit excentrischer Entwicklung, die zweite dagegen jene mit concentrischer Entwicklung. Jene Fälle gehören vor Allem der mehr schwammigen Knochensubstanz an, diese dagegen entweder der einfachen Rindensubstanz oder auch dem elfenbeinartigen hypertrophischen Knochen. Die Präparate sind von Kindern und Erwachsenen genommen. Die Einrichtung der Tabelle ist aus den früheren bekannt.

Tabelle IX.

Zahl der Beobachtung	Lumen des Markraumes	Doppelte Breite		Total- Summe	Werth von n
		des Kernwalles	des äussern Walles		
I.					
434	54.0	31.33	9.66	95.0	3
435	24.0	20.0	14.0	58.0	3
436	24.0	29.5	4.5	58.0	2
437	22.0	28.5	5.5	56.0	2
438	39.0	44.0	4.0	87.0	2
439	23.0	33.0	9.0	65.0	2
440	35.0	31.0	25.0	91.0	3
441	53.0	45.0	35.0	133.0	3
442	40.0	52.5	11.5	104.0	2
443	33.5	43.0	8.5	85.0	2
444	35.0	43.5	7.5	86.0	2
445	60.0	76.5	15.5	152.0	2
446	32.0	45.5	12.5	90.0	2
447	29.0	24.0	17.0	70.0	3
448	28.0	22.0	14.0	64.0	3
449	12.0	10.0	6.0	28.0	3
450	30.0	34.5	3.5	68.0	4
451	10.0	12.0	1.0	32.0	4
452	22.0	30.0	7.0	59.0	2
453	63.0	69.5	5.5	138.0	2
454	24.0	55.5	20.5	110.0	2
455	71.0	88.0	16.0	175.0	2
456	31.0	38.0	6.0	75.0	2
457	11.8	9.0	4.2	25.0	3
458	23.0	27.25	3.25	53.5	2
459	10.7	13.5	1.80	26.0	2
460	35.0	43.0	7.0	85.0	2
461	16.5	23.0	5.5	45.0	2
462	45.0	55.5	9.5	110.0	2
463	45.0	28.0	9.0	82.0	3
464	14.0	14.0	12.0	40.0	3
465	51.0	34.0	15.0	100.0	3
466	47.5	56.0	7.5	111.0	2
467	18.0	14.0	8.0	40.0	3
468	57.0	30.0	1.0	88.0	3
469	71.5	78.75	6.25	156.50	2
II.					
470	15.5	27.75	11.25	54.5	2
471	26.0	65.75	38.75	130.5	2
472	24.0	60.20	35.20	119.4	2
473	33.0	36.0	37.0	106.0	3
474	24.0	30.0	34.0	88.0	3
475	31.0	53.0	21.0	105.0	2
476	20.0	35.0	48.0	103.0	3
477	13.0	42.5	28.5	84.0	4
478	22.0	54.5	31.5	108.0	2

Zahl der Beobachtung	Lumen des Markraumes	Doppelte Breite		Total- Summe	Werth von n
		des Kernwalles	des äussern Walles		
479	11.5	44.75	32.25	88.5	2
480	15.0	36.0	20.0	71.0	2
481	37.0	41.0	43.0	121.0	3
482	13.0	22.0	29.0	64.0	3
483	30.0	34.0	36.0	100.0	3
484	18.2	34.0	47.8	100.0	3
485	13.5	35.5	21.0	70.0	2
486	13.5	40.5	26.0	80.0	2
487	13.5	25.5	35.5	74.5	3
488	10.0	30.5	19.5	60.0	2
489	23.0	34.0	43.0	100.0	3
490	11.0	25.5	13.5	50.0	2
491	20.0	45.0	24.0	89.0	2
492	14.5	43.5	70.5	128.5	3
493	6.7	12.0	15.3	34.0	3
494	13.3	34.0	52.7	100.0	3
495	16.0	43.5	26.5	86.0	2
496	18.0	33.0	46.0	97.0	3
497	25.0	45.0	19.0	89.0	2
498	16.0	41.75	24.75	82.5	2
499	35.5	60.5	24.0	120.0	2
500	15.5	52.0	86.5	154.0	3
501	9.5	59.75	49.25	118.5	2
502	13.4	31.25	16.85	61.50	2
503	11.5	18.0	22.5	52.0	3
504	25.0	60.5	34.5	120.0	2
505	22.5	59.0	35.5	117.0	2
506	9.0	17.3	7.3	33.6	2
507	12.5	16.0	17.5	46.0	3
508	24.0	30.0	34.0	88.0	3
509	17.0	29.0	11.0	57.0	3
510	7.0	29.0	49.0	85.0	3
511	8.2	19.6	10.4	38.2	2
512	7.0	18.0	27.0	52.0	3
513	6.0	24.75	17.75	48.5	2
514	7.0	20.0	12.0	39.0	2
515	8.0	16.0	22.0	46.0	3
516	14.0	22.5	37.5	74.0	2
517	7.0	41.2	73.4	121.6	3
518	26.5	83.0	55.5	165.0	2
519	9.0	48.5	38.5	96.0	2
520	20.0	80.0	59.0	159.0	2
521	14.0	50.0	84.0	148.0	3
522	24.0	47.0	68.0	139.0	3
523	19.0	22.0	23.0	64.0	3
524	22.5	48.5	25.0	96.0	2
525	26.0	59.75	32.75	118.5	2
526	19.0	42.5	22.50	84.0	2
527	20.0	45.5	24.50	90.0	2
528	11.0	27.0	15.0	53.0	2
259	11.5	27.5	41.5	80.5	3

Zahl der Beobachtung	Lumen des Markraumes	Doppelte Breite		Total- Summe	Werth von n
		des Kernwalles	des äusseren Walles		
530	32·0	55·5	22·5	100·0	2
531	30·0	48·5	17·5	96·0	2
532	31·0	59·0	27·0	117·0	2
533	15·0	20·0	23·0	58·0	3
534	9·0	16·25	6·25	31·5	2
535	10·0	28·5	45·0	83·5	3

Es wäre ein Leichtes, diese Fälle mit einer bedeutenden Zahl noch zu vermehren; das Angeführte möge genügen. Es erhellet aus den vorhergehenden Tabellen, dass das Wachsen der Marksysteme mit der eingetretenen Ossification noch nicht beendet ist, sondern auch von diesem Zeitpunkte an noch erhebliche Grössenzunahmen Statt finden. Wo die Grenze dieses Wachstums ist, das dürfte schwer zu ermitteln sein, doch nicht leicht dürfte ein aus einer einfachen Knorpelcombination entstandenes Marksystem die Breite von 0·0200 P Z übersteigen, kommen noch breitere Markräume als diese vor, so ist ihre Entstehungsweise eine andere als die genannte.

Vergleicht man die beiden Reihen der letzten Tabelle miteinander, so stellt sich ein bemerkenswerther Umstand heraus. Es zeigt sich nämlich, dass die concentrische Entwicklung der Knochen weiter geht als die excentrische. Während nämlich in der letzten Reihe das Lumen in sehr vielen Fällen nur der sechste, zehnte, selbst nur der zwölfte Theil des ganzen Marksystemes ist, mithin nur das Drittel bis Sechstel des Kernwalles darstellt, ist in der ersten Reihe der Markraum nicht viel grösser als die doppelte Kernbreite, und übersteigt in keinem Falle die doppelte Grösse des Kernwalles. Es ist sonach die Stellung der Kerne einer Knorpelcombination, aus welcher diese Marksysteme hervorgehen, häufiger eine centripetale, d. h. der gemeinschaftlichen Berührungslinie näher gerückt als eine centrifugale.

Ich habe nun im Bisherigen immer nur eine Dimension der Zellencombinationen einer Untersuchung unterzogen, hierbei war es aber ganz gleichgiltig, welche der normalen Dimensionen berücksichtigt wurde. Ich traf überall auf dasselbe Gesetz, mochte ich die Messung z. B. an einem elliptischen Marksysteme

nach der Richtung der langen oder der kurzen Achse vornehmen; in der Natur der Sache aber lag es, dass sie besonders in der Richtung der kurzen Achse, d. h. nach der Richtung der Breite der combinirten Zellen und Kerne vorgenommen wurde. Die bisher aufgedeckte Gesetzmässigkeit der Combinationen und Kernstellungen liessen mich keinen Augenblick daran zweifeln, dass auch zwischen der langen und kurzen Achse einer Combination oder eines Systems ein genau geregeltes Verhältniss bestehe, und es galt nun diesem Verhältnisse auf die Spur zu kommen. Ich glaube, dass mir dieses geglückt ist. Es war kein Zweifel, dass ich, um zu einem Resultate zu gelangen, abermals auf das Wachsthumsgesetz der Zellen und Kerne zurückgehen musste, und so versuchte ich nun Anfangs auf dem Wege der Theorie, später auf praktischem Wege dieses Verhältniss aufzuklären. Ich werde nun den ganzen Gang der Untersuchung vorlegen und die bestätigenden Beobachtungen am Schlusse beifügen.

Es kann fürs Erste der Fall gesetzt werden, dass um einen vollkommen runden Kern eine Zelle erscheint, deren Wachstums-Coëfficient in den 2 aufeinander senkrechten Achsen verschieden ist. Es ist dies nicht nur eine hie und da vorkommende, sondern wie ich mich nachträglich überzeugte, eine häufigere Erscheinung als ich Anfangs meinte. Hierdurch entstehen die sogenannten elliptischen Zellen, deren lange und kurze Achse sich zu einander verhalten wie 3 zu 2, oder wie 4 zu 3 oder wie 4 zu 2, je nachdem dem Coëfficienten n die Werthe 4, 3 oder 2 in den beiden Dimensionen beigelegt werden. Combiniren sich derartige Knorpelzellen und zwar zu einer regelmässigen und Urcombination, so kann, um einen vollkommen kreisrunden oder elliptischen Markraum ein gleichfalls kreisrunder Kernwall, um letzteren ein elliptischer Aussenwall entstehen, in welchem letzteren die Knochenfasern je weiter nach auswärts, desto mehr excentrische Ellipsen darstellen. (Fig. 23.) Das Verhältniss der beiden Achsen der grössten Ellipse ist ein durch das Wachsthumsgesetz genau vorgezeichnetes.

Viel häufiger aber erscheinen Knorpelkerne von sehr langgedehnter spindelförmiger Form, und es handelte sich, da sie die Mehrzahl der Combinationsfälle darstellen, gerade darum, das Verhältniss der Länge zur Breite derselben zu ermitteln. Hierbei

ging ich von dem Wachsthumsgesetze der Kerne und dem Verhältnisse derselben zu den Kernkörpern aus. In meiner früheren Eingangs citirten Arbeit über die Zellenentwicklung, hatte sich nämlich das Gesetz herausgestellt, dass der Kern in seiner ursprünglichsten Form das Dreifache des Durchmessers des Kernkörpers betrage. Es hatte sich ferner gezeigt, dass wenn in einem Kerne zwei Kernkörper vorkommen, diese gewöhnlich eine symmetrische Lage haben, und dass dann die Länge des Kernes entweder das Sechsfache oder das Fünffache des Durchmessers eines einzelnen Kernkörpers darbiere. Auf dieses hin fusste meine Theorie und Untersuchungsmethode. Ich ging hierbei nur von einer Voraussetzung aus, die, wenn auch nicht für alle Fälle vollkommen richtig, doch in der Mehrzahl richtig genannt werden kann, und von der es nur so ganz unerhebliche Ausnahmen giebt, dass diese, als innerhalb der Fehlergrenze befindlich, gar nicht in Betracht kommen können; diese Voraussetzung ist: dass die Kernkörper vollkommen rund sind. Unter dieser Voraussetzung ergeben sich folgende höchst einfache Verhältnisse der Breite zur Länge eines Kernes: der Kern ist entweder kreisrund, oder die Länge ist das Doppelte der Breite, oder die Länge verhält sich zur Breite wie 5:3. Hiernach entwarf ich mir folgende Berechnungsmethode für alle Fälle: Ich nehme die grösste Breite eines Kernes und theile dieselbe durch 3 um den Durchmesser des supponirten Kernkörpers zu erhalten; mit dem Quotienten dividire ich in die Länge des Kernes und erhalte sonach als Quotienten eine Zahl, welche mir direct angiebt, wie viel Kernkörperchen in einem regelmässig gestalteten Kerne gleichsam vorhanden sein können. Dass hiermit jedoch nicht alle Fälle erschöpft sind, und dass noch andere Verhältnisse als jene von 5:3 vorkommen werden, daran zweifelte ich keinen Augenblick und es lag mir eben daran, jene Verhältnisse durch die Erfahrung kennen zu lernen. Der Grund, aus welchem ich an dem Vorhandensein anderer Verhältnisse festhalten zu müssen glaubte, lag im Folgenden: Meine Untersuchungen über die Kernkörper und deren Verhältnisse zum Kerne hatten mir gezeigt, dass wenn in einem Kerne zwei Kernkörper sich vorfinden, nicht selten ein Raumtheil durch ihre Combination ausfällt, so dass der Kern statt die sechsfache Länge des Kernkörperchens nur das Fünffache desselben darbietet. Es liess sich

hieraus mit Wahrscheinlichkeit folgern, dass es Fälle geben werde, in welchen bei Combinationen dreier Kernkörper statt der neunfachen Länge nur ein Sieben- oder Achtfaches erscheint, oder bei Combinationen von 4 Kernkörpern statt der zwölffachen Länge nur das Neunfache beobachtet werden kann, indem gewisse unmittelbar aneinanderstossende Raumtheile durch die Verbindung in einen einzigen Raumtheil zusammenflössen. War nämlich die Thatsache festgestellt, dass 6 Raumtheile in 5 zusammenfliessen können, so war hiermit auch der Beweis gegeben, dass 9 Raumtheile zu 7, 12 Raumtheile zu 9 Theilen sich vereinen. Dass diese Zahlen 3, 5, 6, 7, 9, 12 öfters vorkommen, wird im Folgenden gezeigt werden. Dies führte wieder zunächst zu einer Theorie über die Art, wie sich die Raumtheile eines Kernes um die Kernkörper gruppieren. Ich lege diese Theorie der Beurtheilung vor; ihre Begründung muss ich mir freilich auf eine weitere Musse vorbehalten, da in der That die Messungen, die hier vorgenommen werden müssen, wegen der Kleinheit der Gegenstände zu den schwierigsten Arbeiten gehören, welche die Mikroskopie kennt. — Ich dachte mir die Raumtheile eines Kernes um einen Kernkörper regelmässig und zwar so gruppirt, dass der Kernkörper, wie in der 57. Figur, genau die Mitte des Kernes einnimmt, und diese Stellung heisse ich die centrale; oder die Raumtheile so angeordnet, dass der Kernkörper zum polständigen wird. Kommen nun in einem Kerne zwei Kernkörper vor, so ist die Anordnung der Raumtheile für beide Kerne eine ganz gleiche, oder eine ganz entgegengesetzte; und heissen wir wieder das Vorkommen zweier oder mehrerer Kernkörper in einem Kerne eine Combination, so ergeben sich abermals gleichsinnige, doppelsinnige und widersinnige Combinationen. Gleichsinnige Combinationen mit centralständigen Kernkörpern (Fig. 58) wenden einander zwei leere Raumtheile zu, welche, wie in der Figur 59, zu einem einzigen Kernraume verschmelzen können, und die Vergrösserungszahl des Kernes (d. h. jene Zahl, welche anzeigt, wie vielmal der Kern grösser ist als der Kernkörper) ist nicht 6, sondern 5. Bei gleichsinnigen Combinationen mit polständigen Kernkörpern kann, wie ein Blick auf die Figur 60 zeigt, dieses Zusammenschmelzen nicht eintreten, da nicht homogene Raumtheile aneinander lagern. Bei doppelsinnigen Combinationen im Maximo (62) ist wieder ein sol-

ches Verschmelzen denkbar und die Vergrößerungszahl erhält dadurch wieder den Werth 5, dieser Veränderung unterliegen die doppelsinnigen Combinationen im Minimo eben so wenig als die widersinnigen Combinationen im Minimo, wohl aber wieder jene im Maximo. In dem letzteren Falle ist selbst der Vergrößerungscoefficient 4 möglich, indem die drei nebeneinanderliegenden Raumtheile in einen zusammenfliessen, wie es in der Figur dargestellt ist.

Nimmt man nun Combinationen dreier Kernkörper, so sind eine Menge von Fällen möglich; entweder sind alle Combinationen gleichsinnig mit centralständigem oder polständigem Kerne oder es folgen sich gleichsinnige und doppelsinnige, gleichsinnige und widersinnige, widersinnige und doppelsinnige Combinationen wie in den beigegebenen schematischen Figuren zu sehen ist, in mannigfacher Weise. Nimmt man nun an, dass analoge Raumtheile (d. h. solche, die entweder ein Kernkörperchen enthalten oder solche, die keines enthalten) in ein Raumtheilchen zusammenfliessen, so erhält man bald eine Art von Condensation zweier oder dreier Raumtheile in einen und die Vergrößerungszahlen werden dadurch 8 oder 7. Hätte man 4 Kernkörper combinirt, so wären sonach die Vergrößerungszahlen 12, 11, 10 oder 9 oder allgemein ausgedrückt: Die Vergrößerungszahl beträgt, wenn m die Anzahl der combinirten Kernkörper bedeutet, entweder $3m$ oder $3m - 1$, oder $3m - 2$ oder $3m - 3$ bis $3m - (m - 1)$. Betrüge sonach die Zahl der Kernkörper 8, so wäre die Vergrößerungszahl des Kernes im Maximo 24, im Minimo dagegen 17, oder eine zwischen 17 und 24 liegende ganze Zahl.

Vielleicht dass man diese Darstellungsweise als eine unnütze und haarspaltende Kleinigkeitskrämerei betrachtet; aber eine streng wissenschaftliche Untersuchung darf auch von Fragen nicht absehen und von Aufgaben nicht zurückschrecken, die, weil sie in das Kleinste eingehen, Vielen kleinlich erscheinen.

So wäre das Verhältniss der Breite zur Länge eines Kernes an ein sehr einfaches Gesetz gebunden, das in der Ausführung abermal die grösste Mannigfaltigkeit der Formen hervorbringen kann, indem z. B. ein Breitendurchmesser mit einem Längendurchmesser von der gleichen oder von jeder grössern selbst der 8fachen Länge Verbindungen einzugehen vermag.

Ich theile nun in der folgenden Tabelle die Fälle mit, in welchen ich an den Kernen der Knorpelzellen-Länge und Breite gemessen habe. Die Einrichtung der Tabelle ist leicht verständlich. Es enthält die erste Spalte die Nummer der Beobachtung, die zweite Spalte die Länge des Kernes, die dritte Spalte die grösste Breite des Kernes, die vierte Spalte den durch Division gefundenen dritten Theil der grössten Kernbreite, die fünfte Spalte den Vergrösse- rungs-Coëfficienten des Kernes, die sechste Spalte, die aus der Rechnung hervorgehende Länge des Kernes, die letzte Spalte end- lich die Unterschiede zwischen Messung und Rechnung. Dass ich bei der Wahl der Präparate die grösste Sorgfalt auf scharfe und regelmässige Formen verwandte und mich nicht mit einer einmaligen Messung begnügte, wird man nicht bezweifeln können.

Tabelle X.

Zahl der Beobach- tung	A. Länge des Kernes	B. Breite des Kernes	C. $\frac{B}{3}$	Ver- grösse- rungs- Coëffi- cient	D. Berechnete Länge des Kernes	Unterschied von A und D.
536	4.2	2.1	0.7	6	4.2	0.
537	3.3	2.0	0.66..	5	3.33..	+0.066.
538	6.5	3.2	1.066..	6	6.399.	-0.1
539	6.2	2.7	0.9	7	6.3	+0.1
540	16.0	1.85	0.6166..	26	16.0327	+0.033..
541	8.5	3.2	1.066..	8.0	8.533	+0.033.
442	3.8	2.2	0.733..	5.0	3.666..	-0.133
543	5.45	1.8	0.6	9.0	5.4	-0.05
544	12.6	1.8	0.6	21.0	12.6	0
545	8.4	2.8	0.933..	9.0	8.399	-0.0001
546	9.4	2.366	0.788..	12.0	9.4666..	+0.066.
547	10.4	2.6	0.866..	12.0	10.4	0
548	6.7	2.233	0.744..	9.0	6.699	0
549	6.0	2.6	0.866..	7.0	6.066..	+0.066
550	5.7	1.9	0.633	9.0	5.699	0
551	6.8	1.7	0.566..	12.0	6.799	0
552	5.6	1.85	0.6166..	9.0	5.5469..	-0.05
553	7.6	1.9	0.633..	12.0	7.599..	0
554	10.1	2.55	0.85	12.0	10.2	+0.1
555	9.0	1.35	0.45	20.0	9.0	0
556	9.6	1.433.	0.477	20.0	9.555	-0.044..
557	14.25	1.2	0.4	38.0	14.2	-0.05
558	7.5	1.7	0.566	13.0	7.36	-0.14
559	13.0	1.15	0.3833..	34.0	13.033..	+0.033
560	7.0	3.0	1.0	7.0	7.0	0
561	5.0	2.5	0.833..	6.0	4.99..	0
562	6.0	2.0	0.666..	9.0	5.99..	0
563	6.7	2.0	0.666..	10.0	6.66..	-0.033
564	5.9	1.96	0.6533..	9.0	5.879	-0.021
565	7.1	2.1	0.7	10.0	7.0	-0.1

Zahl der Beobach- achtung	A. Länge des Kernes	B. Breite des Kernes	C. $\frac{B}{3}$	Ver- grösse- rungs- Coëffi- cient	D. Berechnete Länge des Kernes	Unterschied von A und D.
566	5.1	2.25	0.75	7.0	5.15	+0.05
567	5.2	2.6	0.866..	6.0	5.199..	0
569	5.2	1.74	0.58	9	5.22	+0.02
569	5.5	1.5	0.5	11	5.5	0
570	4.75	1.8	0.6	8	4.8	+0.05
571	4.8	1.6	0.533..	8	4.799..	0
572	11.45	1.9	0.633	18	11.399..	-0.05
573	4.0	2.4	0.8	5	4.0	0
574	4.0	2.35	0.7833..	5	3.9166..	-0.08
575	6.7	2.0	0.66..	10	6.66..	-0.033
576	7.2	2.2	0.733..	10	7.33..	+0.13
577	7.2	2.0	0.66..	11	7.266..	+0.066..
578	7.2	1.8	0.6	12	7.2	0
579	5.2	2.55	0.85	6	5.1	-0.1
580	6.9	1.6	0.533..	13	6.933	+0.033
581	6.65	2.0	0.66..	10	6.66..	+0.0166..
582	5.85	1.6	0.533..	11	5.866..	+0.0166
583	6.6	2.0	0.666..	10	6.66..	+0.066..
584	5.25	2.0	0.666	8	5.34	+0.09 ..
585	7.0	2.1	0.7	10	7.0	0
586	5.8	1.6	0.533..	11	5.866	+0.066..
587	6.2	1.55	0.5166..	12	6.199	0
588	4.8	1.8	0.6	8	4.8	0
589	8.7	1.85	0.6166..	14	8.633	-0.066..
590	7.3	2.0	0.66..	11	7.33..	+0.033..
591	9.0	3.00	1.0	9	9.0	0
492	8.5	1.95	0.65	13	8.45	-0.05
593	8.5	1.83	0.61	14	8.54	+0.04
594	9.1	3.9	1.3	7	9.1	0

Man sieht wohl aus diesen und überhaupt aus den bisherigen Zahlenangaben, dass die Natur eine besondere Vorliebe für ungerade und incommensurable Zahlen zu haben scheint.

Ich kehre nach diesen Erfahrungen wieder zu den Knorpelcombinationen zurück, indem ich die Behufs der detaillirten Beweisführung unterbrochene Untersuchung über das Grössenverhältniss der beiden Hauptdimensionen einer Combination wieder aufnehme.

Ist die Länge eines Knorpelkernes mit seiner Breite in einem bestimmten oder wenigstens bestimmbar Verhältnisse, so gilt dasselbe auch von der umschliessenden Zelle, da der Erfahrung gemäss das Gesetz $Z = n K - (n - 1) 0,5$ für jede der Hauptdimensionen der Zelle gilt. Zwar wäre es möglich, dass der Werth von n in der zwei Hauptdimensionen verschieden ist; aber

bei den Knorpelzellen schwankt derselbe überhaupt nur zwischen 2 und 3, und somit wird es ein leichtes sein, mittelst ein Paar Versuchen aus der gegebenen Breite eines Kernes und dem Vergrößerungscoefficienten desselben die mögliche Breite und Länge der Zelle zu bestimmen. Beträgt z. B. die Breite eines Kernes 1·8 der Vergrößerungscoefficient 7, so ist die Länge des Kernes 4·2 folglich die Breite der umschliessenden Zelle $= 3 \cdot 1$ für $n=2$, die Länge dagegen 7·9 für $n=2$, oder 11·6 für $n=3$; die Länge ist daher im letztern Falle nahe 3·7mal grösser als die Breite. Combiniren sich nun zwei dieser Knorpelzellen zur Bildung eines Marksystems, so entstehen dadurch oblonge Formen, bei welchen jedoch die Contouren des Markraumes durchaus nicht parallel mit den Contouren des ganzen Systemes laufen (Fig. 23), während die Knochenfasern mit ihren Knochenkörpern um den ellipsenartigen Markraum ellipsenähnliche Curven darstellen, deren Excentricität um so grösser wird, je weiter sie nach auswärts liegen. Derartige Marksysteme stossen öfters auf. Hier nur ein Beispiel von vielen. Ein oblonges Marksystem eines Schenkelknochens mass der Breite nach 47·6, der Länge nach 68·5; sein Markraum hatte in der erstern Richtung 11·0 in der zweiten 25·0. Hieraus ergaben sich, die Breite des Kernwalles $= 24 \cdot 3$ in der ersten Richtung und für $n=2$; und ebenso die Breite des Kernwalles $= 23 \cdot 5$ in der andern Richtung für $n=3$; woraus sonach, wenn man den geringen Unterschied 0·8 der beiden Kernbreiten vernachlässigt, sich ergibt, dass bei den in die Combination eingegangenen Kernen die Länge gleich der Breite war, aber die Zelle nach der Längenrichtung mit dem Coefficienten 3 nach der Querrichtung mit dem Coefficienten 2 sich entwickelte, wodurch das Marklumen in der einen Richtung fast das Doppelte der andern Richtung wurde, und ausserdem durch excentrische Lage des Kernes sich nach beiden Dimensionen noch um etwas erweiterte, und zwar fast genau so, dass die durch die excentrische Lage bedingte Erweiterung in der einen Richtung das Doppelte der andern Richtung mass. Eine weitere Detaillirung möge man mir erlassen, da derjenige, welcher sich die Mühe giebt, nach der angegebenen Methode Messungen und Rechnungen durchzuführen, noch manchen Beleg für das eben Gesagte ohne grosse Schwierigkeit auffinden wird.

Auch bei der excentrischen sowohl als der concentrischen Entwicklung der Marksysteme ist der Fall durchaus nicht selten, dass selbst nach vollendeter Entwicklung des Knochens der Kernwall durch Farbe und scharfe Begrenzung sich deutlich vom Aussenwall unterscheidet. Oft ist es der ganze Kernwall, oft ein nach dem Gesetze $Z = nK - (n-1)0.5$ bestimmbarer aliquoter Theil desselben der diese scharfe Unterscheidung erkennen lässt. Als Belege hiezu einige Fälle.

Erster Fall. Ein Marksystem von der Breite $= 40.2$ zeigte ein Lumen von 8.2 , und um dieses einen hellen Knochenring von der (doppelten) Breite 13.3 . Berechnet man aber aus dem Durchmesser des Marksystems und jenem des Markraumes mit dem Coëfficienten $n = 3$ die Raumverhältnisse, so erhält man für die doppelte Breite des Kernwalles 13.4 , mithin nur einen Unterschied von 0.1 .

Zweiter Fall. Ein Marksystem misst 50.98 , sein Markraum 12.1 . Aus diesen beiden Grössen berechnet sich die doppelte Breite des Kernwalles zu 17.66 . Die unmittelbare Messung des den Markraum umgebenden helleren Knochenringes ergab 18.4 , mithin eine Differenz von nur 0.733 .

Dritter Fall. Ein Marksystem ergibt $15.199..$, sein Markraum 6 . Aus der Berechnung mit dem Coëfficienten $n = 3$, folgt für den doppelten Kernwall $5.733..$ Die unmittelbare Messung des helleren inneren Knochenwalles giebt 6.1 , mithin einen Unterschied von nur $0.366..$

Vierter Fall. Ein Marksystem hat einen Durchmesser $= 88.5$, das Lumen misst 11.5 . Die doppelte Breite des Kernwalles nach $n=3$ berechnet, beträgt sonach 30.166 . Der den Markraum umgebende helle Knochenring misst aber nur 12 . Zerlegt man aber die Kernbreite nach $n=3$, so erhält man 2 Theile (Kerntheil und Zellentheil) mit den Durchmessern $19.44..$ und $10.722..$, dieser Durchmesser ist aber nur um 1.3 kleiner als die gemessene Breite des inneren hellen Knochenringes; letzterer ist sonach ein aliquoter Theil des Kernwalles in genauer Uebereinstimmung mit dem Grundgesetze der Knochenbildung.

Fünfter Fall. Ein Marksystem misst in der grössten Breite 106 , und enthält ein Lumen $= 33$. Mit dem Coëfficienten $n = 2$ berechnet sich hieraus die doppelte Breite des Kernwalles auf

53·5. Aber die Messung des helleren Knochenringes ergiebt nicht mehr als 28·5. Zerlegt man daher die berechnete Kernbreite nach dem Coëfficienten $n=2$ in zwei Theile, so erhält man 26·25 und 27·25 und letztere Zahl ist nur um 1·25 kleiner als die unmittelbar gemessene Breite. Der helle Knochenring ist somit der dem Wachsthumsgesetze genau entsprechende aliquote (Kern-) Theil des Kernwalles.

Sechster Fall. Ein Marksystem besitzt einen Durchmesser von 118·5 bei einer Breite des Lumens von 9·5. Mit dem Coëfficienten $n=3$ berechnet sich hieraus die doppelte Kernbreite zu 40·166. Aber die Messung zeigt für den hellen um den Markraum sich hinziehenden Hof nur eine doppelte Breite von 21·5. Zerlegt man nun den Raum 40·166 nach dem Coëfficienten $n=2$ so ergeben sich 19·583 und 20·583 als die beiden Theile und von diesem ist der letztere nur um 0·917 kleiner als die Messung, folglich gilt von diesem Knochenringe dasselbe wie von den Fällen 4 und 5.

Man wird sich aus dem Früheren erinnern, dass das Zerfallen in zwei concentrische Ringe an den einzelnen Knochenfasern zur Zeit der Bildung der Knochenkörper häufig beobachtet werden kann. Am ausgewachsenen Knochen ist nun nicht allein dies gleichfalls der Fall, indem oft regelmässig jede einzelne Knochenfaser in einen äusserrn dunklen, inneren hellen Ring zerfällt (Fig. 57), die genau zu einander in einem Verhältnisse stehen, dass sie nach dem Gesetze $Z=nK-(n-1)0·5$ berechnet werden können, sondern diese Art der Abgrenzung wird noch dann beibehalten, wenn der ursprüngliche Kern- oder Aussenwall die ihm Anfangs eigene Breite um ein Bedeutendes überschritten hat, ja sogar selbst wieder viele Knochenfasern enthält, deren jede abermal einer solchen Zertheilung unterworfen werden kann.

Ich habe zu den bisherigen Untersuchungen Formen gewählt, deren Regelmässigkeit mir einige Aussicht auf die Möglichkeit einer exacten Bestimmung gestatteten und ich glaube meine Aufgabe vorläufig in der Art zu einem Abschlusse gebracht zu haben, dass ich jedem in einer Combination oder einem Systeme vorkommenden Theile seine Stelle anwies, in jeder noch so unansehnlichen Linie oder Farbennuance das unbedingte Walten eines Gesetzes durchschimmern liess, die Verhältnisse der Haupttheile und Hauptdimensionen der Systeme auf die ersten Anfänge der Entwicklung

zurückführte. Es bleibt mir nach diesem nur noch Weniges zu sagen übrig.

Von den regelmässigen Formen ist es nicht schwer auf die unregelmässigen zu schliessen. Es wird kaum zweifelhaft sein, dass alle die bisher erörterten Gesetze *mutatis mutandis* auch auf die unregelmässigsten aller Combinationen angewendet werden können. Die Berechnungen dieser Combinationen wird man mir übrigens, glaube ich, gerne erlassen, denn abgesehen davon, dass sie ungleich schwieriger sind als die an regelmässigen Formen angestellten, gewähren sie lange nicht den Vortheil der letzteren, da sie zu allgemeinen Schlüssen nicht leicht Veranlassung geben wie diese.

Der Unregelmässigkeiten in den Combinationen können mehrere sein; sie lassen sich auf folgende Fälle zurückführen: *A)* Unregelmässigkeit, bedingt durch die Lage der combinirten Theile; *B)* oder durch die Form, oder *C)* durch die Grösse oder *D)* durch die Zahl. Man erlaube mir jede dieser Unregelmässigkeiten einer kurzen Betrachtung zu unterziehen.

Die Unregelmässigkeit durch die Lage bietet eine sehr grosse Anzahl von Abwechslungen dar. So kommen, wie bereits angegeben, Fälle vor, dass sich die nebeneinander liegenden Zellen nur zur Hälfte an ihrer breiten Fläche, oder zum dritten Theile ihrer Länge, oder gar nur an den Polen berühren (Fig. 47). Ihre Umwallung erfolgt nicht minder regelrecht. Unter diesen Formen zeichnen sich wieder jene durch grössere Regelmässigkeit aus, bei welchen wie in der Figur die Zellen mit ihren Polen genau aneinander stossen. Von den aus dieser Polcombination entstandenen Formen hebe ich wieder jene besonders heraus, bei welchen die Umwallung des Kernraumes in einen Knochenwall in einer Weise von statten geht, dass der Kernwall an seinem inneren Rande nach Art einer Hohlkehle vertieft erscheint (Fig. 48) bis endlich auch dieser Theil der Verknöcherung unterliegt. Andere Unregelmässigkeiten der Lage entstehen dadurch, dass zwei Zellen mit ihren langen Achsen convergiren und in der Nähe des Poles seitlich von demselben an einem Punkte sich berühren. Diese Art der Combination ist keineswegs eine seltene. Man sieht sie in der 49. Figur so wie die Formen die weiters aus ihr hervorgehen in den Fig. 50, 51, 52 dargestellt. Der Convergenzwinkel kann eine verschiedene Grösse darbieten. Andere Unregelmässigkeiten, die übrigens grösstentheils

als Unregelmässigkeiten der Form erscheinen, entstehen dadurch, dass Zellen sich combiniren, deren lange Achsen nicht in ein und derselben Ebene befindlich sind, hieher gehören folgende Formen: Die Ebenen, welche auf den beiden Achsen senkrecht stehen, sind selbst auf einander senkrecht (Fig. 53, 54.), oder sie sind gegen einander unter verschiedenen Winkeln geneigt. Die allmähliche Umschliessung dieser Combinationen erfolgt in der gewöhnlichen Art, wie die Fig. 53 zeigt, und es entstehen aus ihnen wohl nicht selten rundliche Formen.

Die Unregelmässigkeiten in Betreff der Formen rühren grösstentheils davon her, dass Zellen von verschiedenen Ebenen her sich combiniren und daher bei den zur Messung nothwendigen Durchschnitten sehr verschiedene Durchschnichtsfiguren darbieten. Doch giebt es auch zuweilen eigenthümliche Formen. So erscheinen z. B. eine rautenartige neben einer geschwänzten Zelle oder (Figur 55) zwei geschwänzte Zellen mit ihren stumpfen Polen einander zugewendet, oder eine runde neben einer fast dreieckigen Zelle (54), oder eine längliche Zelle neben einer runden, und so fort. Alle diese Einzelheiten aufzuführen, würde kaum der Mühe werth sein; ihre Umwallung ist aus den beigegebenen Zeichnungen ersichtlich.

Unregelmässigkeiten der Form ergeben sich auch daraus, dass sich von zwei nebeneinander liegenden Combinationen die eine vollständig und regelmässig, die andere dagegen durch jene im Raume beengt, nur unvollständig entwickelt. Die hiedurch entstehenden Formen gehören gleichfalls nicht zu den Seltenheiten und bieten wieder eine gewisse Mannigfaltigkeit dar. Entweder bestehen sie in einer einfachen Verstümmelung des einen Systems, hieher gehört die Fig. 66, oder sie bestehen darin, dass ein System zwischen andere eingeschoben sowohl die Form dieser als auch seine eigene Form gleichsam wie durch angebrachten Druck verändert. Beispiele hievon bieten die Figuren 67, 68 dar.

Die Grösse kann insoferne zu Unregelmässigkeiten Veranlassung werden, als entweder gleich ursprünglich ungleich grosse Zellen und Kerne sich mit einander verbinden, oder die Wachstumscoefficienten der Zellen bei gleichen Kerngrössen verschieden sind, oder das Wachsen überhaupt an den combinirten Zellen in sehr ungleicher Weise erfolgt. Hiedurch entstehen ganz unsy-

metrische Verbindungen, die jedoch im Allgemeinen zu den selteneren Fällen zu rechnen sind.

Eine nicht seltene Art von unregelmässiger Entwicklung besteht in der Combination mehrerer Zellen zu einem einzigen Systeme. Auch hiebei lassen sich zwei Hauptgruppen unterscheiden. Entweder combiniren sich mehrere Zellen unmittelbar zu einem einzigen Systeme; oder es combiniren sich je zwei Zellen zuerst zu einem (regelmässigen oder unregelmässigen) Systeme und diese zwei Systeme gehen erst wieder eine Combination ein.

Die unmittelbare Combination mehrerer Zellen zu einem Systeme findet sich in der Regel bei Zellen, deren senkrechte Achsen gegeneinander geneigt sind. Gewöhnlich finden sich 3, seltener 4 mit einander combinirte Zellen. Die Formen der einzelnen Zellen haben sich dabei entweder unverändert erhalten (Fig. 51, 52), oder die eine, oder mehrere Zellen ändern ihre Formen wie durch Druck dazu genöthigt. Die Umschliessung und alles Uebrige geht in vollkommen regelrechter Weise vor sich; und eine spätere Untersuchung würde vielleicht kaum mehr Spuren der ursprünglichen Anomalie nachweisen lassen.

Zusammengesetzte Combinationen werde ich, zum Unterschiede von den eben besprochenen, jene heissen, bei welchen zwei bereits fertige Combinationen zu einer dritten sich verbinden und dann von einem gemeinschaftlichen Walle umschlossen erscheinen, wie dies in der 69. Figur dargestellt ist. Hiebei sind wieder beide Combinationen einander bis zur Berührung nahe gerückt, oder es trennt dieselben ein namhafter Zwischenraum. In dem ersteren Falle platten sich beide Combinationen an der Berührungsstelle zuweilen ab und es entsteht ein aus zwei zusammengehörigen Theilen bestehendes Marksystem, wie es die 70. Figur zeigt, in dem letzten Falle dagegen zieht zwischen zwei von einer gemeinschaftlichen Umwallung eingeschlossenen Marksystemen ein breites Knochenband durch, dessen Knochenkörper weder dem einen noch dem anderen Systeme anzugehören scheinen.

Ich glaube mit diesen Angaben der unregelmässigen Combinationen die Hauptformen derselben angedeutet zu haben; eine vollkommen erschöpfende Darstellung liegt keineswegs in meinem Plane. Nur so viel muss ich noch bemerken, dass ich die Ueberzeugung habe, dass trotz der scheinbaren Unregelmässigkeit der

Combinationen durch alle derselben ein regelndes Gesetz hindurchzieht das zu erforschen vielleicht einer späteren Musse vorbehalten bleibt. —

Durchsägt man Knochen in den verschiedensten Richtungen, so stösst man in der compacten Masse wohl selten auf Marksysteme, welche die in den obigen Tabellen aufgeführten Durchmesser um ein Bedeutendes übersteigen, dagegen trifft man in der Rinde aller, namentlich alter Knochen, viele Markräume, welche bei weitem grösser sind, als die bisher aufgezählten Formen und namentlich auch viel grössere Markräume darbieten. Die Bildung dieser Markräume erfolgt in einer von der bisherigen Entwicklung ganz verschiedenen Weise. Sie geht nämlich nicht mehr aus einer ursprünglich einfachen Combination hervor, sondern ist das Resultat des Zusammenfliessens der Markräume zweier oder mehrerer Systeme, nachdem die die Systeme trennenden Knochenwälle oder halbknorpeligen Wände durch Resorption entfernt worden. Je nach der verschiedenen Form, Grösse und Zahl der ineinander mündenden Markräume werden nun diese Höhlen und Canäle zweiter, dritter Ordnung selbst wieder verschiedene Grössen und Formen besitzen und in gewissen Verhältnissen zur Mächtigkeit der umgebenden Knochenwände stehen. Bestimmte Lage- und Grössenverhältnisse werden dieses Ineinanderfliessen begünstigen, andere Verhältnisse dasselbe bedeutend erschweren (wenn auch vielleicht nie unmöglich machen), und es wird auch hier wieder möglich werden, einem Entwicklungsgesetze auf die Spur zu kommen. Mit diesen Untersuchungen werde ich mich im Folgenden beschäftigen.

Es war bisher nur immer von zwei in ein und derselben Ebene liegenden Dimensionen der Marksysteme die Rede und die dritte Dimension derselben wurde ganz vernachlässigt. Das in dieser Beziehung Versäumte wird nun Behufs der eben angedeuteten Untersuchung nachzutragen sein.

Macht man sich Verticalschnitte durch ossificirende Knorpel in der Art, dass diese Schnitte den sich bildenden Markcanälen vollkommen parallel verlaufen, so ist das erhaltene Bild äusserst verschieden, je nachdem man sich näher oder ferner der Ossifications-Grenze findet. In grösserer Entfernung von dieser Grenze nämlich erscheinen die einfachsten Knorpel-Combinationen, je zwei Knorpelzellen zu einem Ganzen vereint, je näher der Ossifi-

cations-Grenze, desto mehr Knorpelzellen sind zu einer Combination zusammengefloßen und desto verwickelter werden zugleich die Verhältnisse. Nahe jener Grenze sind die Combinationen (meist doppelte oder 3—4fache) auf dem Längsschnitte von rautenartiger oder trapezoider Form mit leicht abgestumpften Ecken; entfernter von derselben gehen sie allmählich in die vollkommen kreisrunde Form und aus dieser endlich in die elliptische Form über, wie in den Figuren 27—37 dargestellt ist. Auch die Lagerung ist eine eigenthümliche. Bei jenen der Ossifications-Grenze naheliegenden langgedehnten Rauten ist die längere Diagonale entweder ganz senkrecht (d. h. parallel der Achse des zu bildenden Röhrenknochens) oder unter einem spitzen Winkel gegen die Achse des Knochens geneigt, jene von der Ossifications-Grenze ferne gerückten elliptischen Formen dagegen liegen mit ihrer langen Achse nach der Richtung der Querachse des Knochens, wie es auch die Figur zeigt. Um den ganzen Entwicklungsgang überschauen zu können, ist es nöthig, von den ersten Anfängen zu beginnen.

Nimmt man eine Knorpel-Combination (Ur-Combination) im senkrechten Schnitte oder in Aufrissen (nach der langen Achse der Zelle so bietet sie ganz dasselbe Aussehen dar, wie in der Horizontal-Projection. Die beiden combinirten Knorpelzellen sind von länglich runder Form (Fig. 27) zur Berührung nahe gerückt, anfangs noch jede isolirt, später von einem gemeinschaftlichen Hofe umschlossen, wodurch die ganze Combination ein elliptisches Aussehen mit der oben angegebenen Lage der langen Achse erhält. Nur die Bedeutung der einzelnen Theile ist eine verschiedene, je nachdem der Schnitt entweder genau durch die Mittelebene der ganzen Combination oder von dieser nach Aussen entfernt, durch die gerade übereinander liegenden Kerne geführt wurde. Im ersten Falle haben die einzelnen Raumabtheilungen dieselbe Bedeutung, wie in den horizontal-projeicirten Combinationen und es erhellt daraus, dass eigentlich jede Combination aus vier Knorpelzellen besteht, welche paarweise übereinander liegen. Im zweiten Falle dagegen, ist die Bedeutung der verschiedenen Abtheilungen, eine andere. Der nach Aussen von den beiden Kernen liegende helle Ring (Fig. 27 a) hat auch hier die Bedeutung eines Aussenwalles; dagegen würde sowohl der Raum, den der Knorpelkern einnimmt, (Fig. 27 b) als auch der zwischen den beiden Knorpelkernen

befindliche Raum, den ich an der Horizontalprojection den Markraum nannte, in dieser Projection, weil gerade untereinander liegend und sich vollkommen deckend, zum Kernraume oder zum Kernwalle gerechnet werden müssen, oder mit andern Worten: der ganze von dem äusseren Ringe umschlossene Raum ist die Innenwand des Markraumes im Aufrisse gesehen. Nach diesem ist auch die Umwandlung des zwischen den beiden Kernen befindlichen Raumes (Fig. 27 c) eine von der Umwandlung des Markraumes wesentlich verschiedene. In ihm entstehen nicht die Zellen des Markes, nicht das Fett und die Blutkörper wie in dem Markraume, sondern seine Bestimmung ist gleichfalls die Ossification. Der Hergang dabei ist folgender: Bald nachdem die Zellen von einer gemeinschaftlichen Linie umschlossen worden, bildet sich eine dieser Linie concentrische von den beiden äusseren Rändern der Kerne aus, und es verschwindet allmählich die in der Mitte des ganzen Systems verlaufende ursprüngliche Berührungs- und Grenzlinie beider Zellen (Fig. 28, 29, 30). Der ursprüngliche Kernraum (Fig. 30) vergrössert sich bei der mittlerweile erfolgten Grössenzunahme der ganzen Combination, und zeigt bald einen scharf gezeichneten runden Kern (Fig. 31), der nun entweder in dieser Form, oder aus derselben allmählich in die oblonge Form übergehend, zu einem Knochenkörper sich umstaltet (Fig. 32 a, b). Dieser neue Knochenkörper steht zu den Contouren des ehemaligen Kernes in einem Verhältnisse, das sich ganz nach dem Gesetze $Z = nK - (n-1) 0,5$ berechnen lässt, vorausgesetzt, dass der Schnitt die erforderliche Regelmässigkeit darbietet. Der Zwischenraum zwischen den beiden Kernhöfen (so werde ich in Zukunft den veränderten Raum des ursprünglichen Kernes nennen) ist inzwischen nicht unbenützt geblieben. In ihm entstehen nämlich Kerne, ganz in ähnlicher Weise, wie in den Kernhöfen. (Anfangs deren gewöhnlich zwei ganz in symmetrischer Art gelagert,) und um dieselben die Contouren von Zellen (Fig. 32 a und 32 b), welche zu den neugebildeten Kernen in einem durch das Gesetz $Z = nK - (n-1) 0,5$ gebotenen Verhältnisse stehen. Die eingeschlossenen Kerne wandeln sich gleichfalls in Knorpelkörper um. So umhüllt nun derselbe Aussenwall 4 Knorpelzellen mit verknöchernden Kernen, welche bei ganz regelmässiger Bildung so gestellt sind, dass eine Zelle zu oberst, eine zu unterst sich findet; zwei dagegen in der Mitte

stehen die Pole einander zugewendet (Fig. 32, *ab*). Die ganze Combination ist mittlerweile aus der elliptischen oft in die vollkommen kreisrunde Form übergegangen. Dieser Process: Umwandlung der Kerne in Zellen und endogene Zellenbildung in durch Verschmelzung entstandenen Räumen der Zellen wiederholt sich einige Male; die neu eingeschlossenen Kerne umstalten sich fort und fort in Knochenkörper, und je nach der Vergrösserung des Systems, ist wieder die Zahl und Lage sowie die Grösse dieser Knochenkörper verschieden. Entweder laufen die neugebildeten Knochenkörper alle so ziemlich parallel und liegen nur in einer Reihe in der Art hintereinander, dass an den beiden Endpunkten der Reihe die kleinsten Körper sich befinden und die Reihe dadurch das Aussehen einer sehr in die Länge gezogenen Ellipse erhält, oder die ganze Combination ist in der Mitte stärker ausgebuchtet und besteht aus 2, selbst aus 3 und mehreren Reihen von Knochenkörpern, die nach oben und unten selbst wieder von einzeln liegenden Knochenkörpern geschlossen werden. Die Knochenkörper beider Reihen, nehmen gegen das Ende der Reihe hin gewöhnlich an Länge etwas ab, und die Reihen sind so aneinander gelagert, dass sie (jede einzelne Reihe stellt ein sehr in die Länge gezogenes Parallelogramm dar) in ihrer Zusammenfügung Rhomben von mehr weniger gestreckter Form bilden. Zwischen den einzelnen Knorpelzellen, dann wieder zwischen den Reihen der Knorpelzellen findet man noch deutlich die Contouren der einzelnen Zellen, welche aber bei der nachfolgenden Verknöcherung immer undeutlicher werdend, ein unregelmässiges Netzwerk um die Knochenkörper darstellend, zuletzt unter der Masse von Streifen, welche von den Knochenkörpern auslaufen, nicht mehr scharf unterschieden werden können. Man sehe die Figuren 33—37.

Es ist übrigens begreiflich, dass eine so regelmässige Anordnung der Elemente nicht immer, ja sogar nur in wenigen Fällen eingehalten wird. Oefters sind die Zellen beider Reihen zahnartig in einander greifend (Fig. 37), zuweilen ist der eine oder der andere Kern ganz aus der parallelen Lage geworfen, oft fehlt überhaupt die Anordnung in Reihen, oder zwei Reihen werden aus ihrer parallelen Lage durch eine dazwischen geschobene dritte Reihe verdrängt und was dergleichen Unregelmässigkeiten mehr

sind. Doch waltet bei allen diesen Entwicklungen in Reihen immer der Längendurchmesser im Verhältnisse zum Querdurchmesser um so mehr vor, je näher das betreffende System der Ossifications-Grenze steht.

Die in der beschriebenen Weise entstandenen trapezoiden, parallelogrammen oder rautenförmigen Gruppen von Knorpelzellen sind nun insgesamt von dem Aussenwall der ursprünglichen Combination umschlossen (34, 35, 36, 37), welche in diesem Durchschnitte bald körnig, bald faserig aussieht. Es geht aus der ganzen Entwicklung hervor, dass die Dicke dieses Aussenwalles zur Grösse des von ihm umschlossenen Raumes in einem bestimmten Verhältnisse steht, welches aus dem ursprünglichen Gesetze $S=3M+1$ abgeleitet werden kann. Nur wird diese Formel nun, da Kern- und Markraum später einen gemeinschaftlichen Raum darstellen, für Urcombinations mit dem Wachstums-*Coëfficienten* $n=3$ in $S=3\left(\frac{M-1}{2}\right)+1$ umgewandelt werden müssen. Aber die Combination vergrössert sich offenbar in der senkrechten Richtung mehr als in der transversalen; die eben angegebene Formel gilt daher nur für die transversale Richtung und selbst für diese wegen der Möglichkeit einer abnormen Vergrösserung des Markraumes nicht immer; für die Längenrichtung dagegen ist sie nicht ganz brauchbar, da der ursprüngliche Kernraum in dieser Richtung in einem bedeutend grösseren Verhältnisse wächst, als der umgebende Aussenwall¹⁾. Hierdurch werden Verhältnisse gebildet, die für die ganze weitere Entwicklung vom Einflusse sind. Es ist nämlich der ein Combinations-System umgebende Aussenwall, in Beziehung zum Markraume am dünnsten an den Enden des ganzen Systems, dagegen an den beiden langen Seiten von einer bedeutend dicken Kernwand und Aussenwand umschlossen.

Tritt in dem weiteren Verlaufe der Knochenbildung eine Resorption ein, so dürfte sonach vermuthet werden, dass diese die Wand an dem obern und untern Ende der Knorpel-Combination

¹⁾ Für die Längenrichtung der Combinationen würde die Formel allgemein lauten $S=m\frac{M-1}{m-1}+1$, wobei M den ganzen mit Zellen erfüllten Raum m eine durch Erfahrung zu ermittelnde ganze Zahl, S die Länge des ganzen Systems mit Inbegriff der faserigen Umhüllung, bedeutet. Diese Formel fusst in der Erfahrung, dass der Markraum grossen Combinationen ein ganzes Multipulum plus der Einheit einer ursprünglichen Combination werden könne.

am leichtesten durchbrechen könnte, während die im Verhältniss zum Lumen dicke Seitenwand von dieser Erscheinung längere Zeit unberührt bliebe. Die Erfahrung bestätigt dies im vollen Umfange. Die rautenartigen Systeme liegen nämlich in der Nähe der Ossifications-Grenze zuletzt so dicht aneinander, als es die Dicke des Aussenwalles überhaupt zulässt. An diesen Anlagerungsstellen und namentlich an den den Spitzen nächsten Partien fliessen sie zuletzt (man sehe die Figur 71) vollständig in einander über, und bilden durch dieses Ineinandermünden eben die Markcanäle des Knochens.

Die Form dieser Markcanäle und ihr Verlauf hängt einerseits von der Grösse, andererseits von der gegenseitigen Lage und Entfernung der Knorpelcombinationen und Combinationssysteme ab; sie ergeben sich aus diesen mit einer geometrischen Nothwendigkeit und sind sonach der Berechnung gleichfalls bis auf einen gewissen Punkt zu unterwerfen. Ich werde die Grundlinien dieser Untersuchung im Folgenden auseinandersetzen.

Was zunächst die Entfernung der einzelnen Combinationen betrifft, so muss man die kleinsten, verhältnissmässig jüngsten von den ältern, in der Entwicklung vorgeschrittenen Combinationen trennen.

Da die jüngsten Combinationen noch ganz den Typus der nebeneinanderliegenden Knorpelzellen haben, so ist ihre gegenseitige Entfernung durch das Gesetz $Z = n K - (n - 1) 0.5$ gegeben. Die Combinationen sind nämlich einander zur Berührung nahe gerückt, ohne jedoch gegenseitig auf ihre Formen einen Einfluss zu äussern und die Entfernung zweier Kerne von einander ist ganz nach dem eben genannten Gesetze zu berechnen. Lügen z. B. zwei Urcombinationen nebeneinander, und enthielte jede dieser Combinationen an den einander zugewendeten Stellen einen Kern, dessen Breite 2 betrüge, so wäre der Abstand dieser Kerne nach dem Coëfficienten 3 berechnet $= 3$. Wie aus dem bisher Gesagten ersichtlich, vergrössern sich aber sowohl Kernwall als auch Aussenwall einer Combination in einer Weise, dass dadurch die mögliche Breite eines Knochenkörpers bedeutend überschritten wird, und so bilden sich um den ursprünglichen Markraum 2 Ringe, von denen der innere meist frühzeitig schon einen fertigen Knochenkörper enthält, während der äussere zur Zeit noch ohne Knochenkörper

oft von dem umgebenden Stroma durch optische Eigenschaften sich so wenig unterscheidet, dass er überhaupt nicht wahrgenommen werden kann und erst nach der Behandlung mit entsprechenden Mitteln, hier vornehmlich mit Weingeist, deutlich hervortritt. So scheint das zwischen den Kernwällen der Knorpelcombinationen befindliche Stroma ganz homogen zu sein, die Räume zwischen den einzelnen Combinationssystemen erhalten dadurch eine namhafte Ausdehnung und diese Ausdehnung scheint mit der Grösse der Knorpelcombinationen zu wachsen. Wären nun alle Knorpelcombinationen Urcombinationen oder mindestens regelmässige Verbindungen, so liessen sich diese scheinbar gestaltleeeren Zwischenräume nach dem Gesetze $S = n M + 1$ berechnen. Sie wären nämlich für Urcombinationen die Summen der halben Markräume der neben einanderliegenden Combinationen. Aber wie gezeigt worden ist, haben sich die Combinationen nicht immer einer solchen Regelmässigkeit zu erfreuen, daher es kommt, dass von 2 neben einanderliegenden Combinationen mit gleich grossen Kernen die scheinbaren Zwischenräume unendlich viele Abstufungen darbieten können und nur die Grenzen dieser Schwankungen sind im Allgemeinen anzugeben. Wären, um nur ein Beispiel aus vielen hervorzuheben, zwei Combinationen nebeneinander gelagert, von denen Jede den Durchmesser 16 darböte, so könnte die scheinbare Entfernung beider alle ganzen oder gebrochenen Zahlen von 0 bis 10 betragen, d. h. so weit könnten die sichtbaren Theile der Combinationen auseinander gerückt sein. Mit der beginnenden Verknöcherung vermindert sich die Grösse dieser Zwischenräume, die früher mit dem Stroma ganz homogenen Theile ändern nun Farbe und Durchsichtigkeit und nun erscheinen die Combinationen mit ihren Aussenwällen in der That bis zur Berührung aneinander gedrängt, ohne jedoch in dieser Zusammenhäufung ihre runde Form zu verlieren.

Entstehen nun in den Knochenwällen die Knochenkörper, so sind die Entfernungen zweier benachbarter Knochenkörper verschiedener Combinationssysteme ganz nach dem Gesetze $Z = n K - (n - 1) 0.5$ zu bestimmen aus Gründen, die früher hinreichend zur Sprache gekommen sind.

Beispielsweise ist eben erwähnt worden, dass der scheinbare Zwischenraum zweier Combinationen (d. h. des sichtbaren Theils

derselben von 0 bis 10 variiren könne. Sind nun 2 Combinationen im Minimo ihrer scheinbaren gegenseitigen Entfernung, so fliessen ihre Markräume nach geschehener Resorbtion der Wände leicht in einander, und es entstehen hiedurch bald nur biscuitähnliche Markräume (Figur des Querdurchschnittes), bald 3 oder vierlap-pige Formen und bei weiter fortschreitender Resorbtion überhaupt so unregelmässige Netzfiguren, dass man in diesen wohl kaum mehr die ursprüngliche Form der Markräume erkennen dürfte. Ein ähnliches Zusammenmünden scheint dort leichter zu sein, wo die weitere Entwicklung des Markraumes eine ungewöhnlich grosse ist, mithin in jenen Fällen, in welchen der Markraum sich schnell auf das Doppelte, Dreifache seines ersten Umfangs sich vergrössert.

Beide Arten von excentrischer Entwicklung der Markräume, jene durch abnorme Kernstellung, dann jene durch einfache über-grosse Erweiterung finden sich in der spongiösen Knochensub-stanz sehr häufig, in dieser kommen daher auch häufige Verschmel-zungen zu grösseren Räumen vor. —

Die Form ausgebildeter sehr grosser Knorpelcombinationen wie sie an der Ossifications-Grenze vorkommen, ist, wie oben bereits erwähnt wurde, eine langgedehnte Raute oder ein sehr verlängertes Parallelogramm, deren Diagonalen gegen die beiden Hauptdurch-schnittsebenen des (Röhren-) Knochens entweder unter Winkeln geneigt sind, oder mit diesen Durchschnittsebenen parallel verlaufen, oder endlich ein Trapezoid.

Diese Formen hängen von der Gestalt der ersten Knor-pelkombinationen und von der weiteren Entwicklung der-selben ab.

Ist die Form der ursprünglichen Combination eine voll-ständig regelrechte in der Art, dass die Zellen an ihren breiten Seiten einander berühren und die Kerne einander gerade gegenüber liegen so entsteht bei sonst nicht gestörter Entwicklung eine rau-tenartige Form, die sich um so mehr verlängert, je näher ihr die Ossifications-Grenze rückt, und mit ihrer langen Achse der langen Achse des (Röhren-) Knochens vollkommen parallel lagert. Sie zeigt dann zwei Reihen von Knorpelzellen und Kernen, welche letztere in der Richtung der kleinen Achse der Raute und unter sich vollkommen parallel verlaufen, wenn bei der Entwicklung des

Ganzen kein störender Einfluss vorgekommen ist (Fig. 34, 35). Beide Reihen enthalten in ihrer Mitte (d. h. ungefähr in der Gegend der kleinen Achse der Raute ihre längsten Knorpelkerne; während nun die Längen der Kerne nach oben und unten allmählich geringer werden, schliessen sich beide Reihen in den beiden Spitzen der Raute durch einen einzelnen, querliegenden meist kleinen (den ursprünglichen) Knorpelkern. Die Ursache dieser Art von Entwicklung ist folgende: durch die regelmässige Verbindung zweier Knorpelzellen wird (Fig. 28 u. s. w.) bei der nochmals erfolgten Umschliessung derselben, zu beiden Seiten des gemeinschaftlichen Berührungspunktes ein vollkommen symmetrischer Raum geschaffen, dessen Durchmesser, da er gerade im Durchmesser der Zellen-Combination liegt, grösser ist, als der Durchmesser der combinirten Zellen. Wenn nun nach Umwandlung der ursprünglichen Kernräume in kerntragende Zellräume in dem Zwischenkernraum neue Zellen entstehen (Fig. 32) so bilden sich in dem grösseren Raume auch zwei derselben, welche den bereits vorhandenen parallel sind mit ihren Polen aneinander lagern, und da sie im Durchmesser der Combination liegen mit ihren Enden die bereits vorhandenen Zellen, welche nur einen Kreisabschnitt erfüllen um ein bedeutendes überragen. Hiedurch ist aber auch die erste Andeutung einer Entwicklung in zwei Reihen gegeben. Mit zunehmendem Wachstume entstehen immer neue Formen regelmässig zwischen den bereits vorhandenen, und da die Entwicklung von der Mitte (dem horizontalen Durchmesser) der Combination ausgeht, sind immer die jüngst entstandenen Formen die grössten und gleichfalls in der Mitte befindlich. Hiedurch entsteht eine Rautenform, deren lange Diagonale ganz nach der Richtung der langen Achse des Knochens verläuft und nothwendig absolut und relativ zur kleinen Achse um so länger wird, je näher der Ossifications-Grenze.

Parallelogramme Formen der Combinationssysteme ergeben sich aus ursprünglich unregelmässigen Knorpelcombinationen; sie sind bald einreihig bald zweireihig; zuweilen greifen die Kerne beider Reihen sägeartig in einander ein. Der Entwicklungsgang ist folgender:

Wenn sich zwei Knorpelzellen in der Art mit einander verbinden, dass sie an den langen Seiten nicht vollkommen einander gegenüber liegen, sondern in der Richtung der gemeinschaftli-

chen Berührungslinie etwas verschoben erscheinen (Fig. 3, 4), so ist hiemit der Grund zur parallelogrammen Form, und durch den Grad von Verschiebung auch die Lage der Diagonalen des Parallelogramms gegeben. Zieht man sich von dem einen Pole der einen Zelle zum entgegengesetzten Pole der andern Zelle eine Gerade, so ist diese die Diagonale des werdenden Parallelogramms und sie erscheint um so mehr gegen die Längachse des Knochens geneigt, je grösser die Verschiebung der beiden combinirten Zellen ist, wie aus der Ansicht der Figuren 36, 37 deutlich hervorgeht.

Die Stellung der Kerne in diesen Combinationssystemen ist nun eine sehr verschiedene nach dem Grade der ursprünglichen Verschiebung und nach der Art der Einlagerung der zweitentstandenen Kerne. Ist die Verschiebung nicht bedeutend und sind die zweitentstandenen Kerne in der langen Wand angelagert, so entsteht eine rautenartige Form mit parallelen Kernen. Ist die Verschiebung dagegen bedeutend und sind die zweitentstandenen Kerne polständig und einander entgegengestellt, so ist ein wechselweises Ineinandergreifen der Zellen und Kerne möglich, wie dies aus der Ansicht der Figur 37 erhellt.

Mag sich nun das Combinationssystem in was immer für einer Form entwickelt haben und die Diagonale der Parallelogrammen was immer für eine Neigung gegen die Hauptachsen des ganzen Knochens zeigen, immer werden sich zwei nebeneinanderliegende Combinationen finden, die so gegeneinander gestellt sind, dass sich Seite an Seite anlagern kann. Die einander zugewandten Flächen werden nun aber durchbrochen, und die ursprünglich getrennten Markräume bilden ein Zusammenmünden des Röhrensystems (Fig. 71).

Die Richtung dieser Röhren hängt mit der Grössenentwicklung der einzelnen Systeme innig zusammen; dies zu zeigen ist die Aufgabe der nachfolgenden Zeilen.

Macht man einen senkrechten Durchschnitt durch einen ossificirenden Knorpel, so fällt bald eine gewisse Regelmässigkeit auf, mit der die einzelnen Combinationen an Grösse zunehmen von der Stelle an, wo die ersten derselben erscheinen, bis zur der Stelle wo die Verknöcherung der einzelnen Systeme unverkennbar geworden. Die Ermittlung des Gesetzes dieser Grössenzunahme stösst aber auf bedeutende Schwierigkeiten. Es gelingt nämlich nicht häufig, so vollkommen regelrechte Schnitte zu erhalten, dass

man sicher sein kann, mit unversehrten und nicht mit verstümmelten Formen zu thun zu haben. Zudem muss jeder, auch der regelmässigste Durchschnitt einzelne Systeme verstümmelt geben, da an einen vollkommen regelmässigen Faser- oder Blätterdurchgang der Knorpelmasse nicht zu denken ist, und es entsteht dadurch eine solche Mannigfaltigkeit der Formen, dass man nicht leicht im Stande ist, Spreu von Weizen zu trennen. Dann sind selbst regelrecht durchgeschnittene Formen doch keineswegs immer so regelmässig, dass sie zu einer ganz genauen Messung sich eigneten, im Gegentheile die oben auseinander gesetzten Fälle gehören nur zu den günstigen, sie stellen gleichsam nur die Rahmen dar, in welche tausend andere Formen passen, und so vereinigt sich vieles, um die nachfolgende Untersuchung zu den weniger sichern zu machen. Die Fehlergrenze wird daher auch etwas weiter gezogen werden müssen, und wir werden uns damit begnügen müssen, dass wir bei einzelnen grössern Massangaben Unterschiede von 0.0002 — 4 P. Z. noch nicht für zu gross halten, als dass wir sie vernachlässigen sollten.

Um auch hier wieder dem Gesetze auf die Spur zu kommen, benützte ich einen im Vorausgegangenen bereits angeführten Erfahrungssatz, an den ich eine Theorie anpasste. Aus den frühern Beobachtungen hat es sich nämlich heraus gestellt, dass die Markräume zuweilen um das Doppelte, Dreifache, ja in einigen Fällen sogar bis zum Sechsfachen wuchsen, während die Knochenwälle in den respectiven Breiten unverändert blieben. Ich versuchte, ob dies nicht ein an die Oertlichkeit der Combination gebundenes Gesetz in der Art sei, dass zwei in der Richtung gegen die Ossifications-Grenze hintereinander gelegene Combinationen in ihrer Länge sich dadurch unterscheiden, dass der Durchmesser des Markraums der zweiten das Doppelte des Durchmessers vom Markraume der entfernteren ersten Combination betrage, während dagegen die Breiten der Knochenwälle ganz unverändert angenommen würden. Glück und Zufall begünstigten mich bei dieser Voraussetzung; schon nach wenigen Untersuchungen erhielt ich erfreuliche Resultate, so dass ich die obige Voraussetzung als ein bis auf wenige Ausnahmen geltendes allgemeines Gesetz hinzustellen, keinen Anstand nehme.

Die ganze Methode der Bestimmung (Messung und Berechnung) ist nun folgende. Es kann mit Fug angenommen werden,

dass der Wachsthumscoefficient zweier in einer Combination verflochtenen Zellen zwischen 3 und 2 schwankt, so dass bald der eine bald der andere dieser Coefficienten versucht werden muss, wenn man die allmähliche Grössenzunahme einer Berechnung unterwerfen will. Ebenso muss die Möglichkeit zugegeben werden, dass mehrere unmittelbar hintereinanderliegende Combinationen entweder gar nicht differiren oder immer nur ein Gleiches zunehmen, dass mithin einfach der Markraum auf das doppelte, dreifache seines frühern Durchmessers sich erweitert, ohne dass die Breite der umgebenden Knochenringe in dem entsprechenden Verhältnisse wüchsen; endlich wäre auch wohl denkbar, dass der Wachsthumscoefficient, selbst bei der Vergrösserung des Systems, eine Aenderung erlitte, und z. B. von 3 auf 2 übergienge. Ich habe bei den nachfolgenden Untersuchungen mehrmals von diesen Möglichkeiten Gebrauch gemacht, ohne dass ich damit der Allgemeingiltigkeit des Beweises Eintrag gethan zu haben glaube.

Die Messung wurde nach folgender Methode vorgenommen: Das Präparat wurde fürs erste so gelegt, dass die Längendurchmesser der System-Reihen in die Richtung der Achse der Mikrometerschraube fielen. Bei einer zweihundertmaligen Vergrösserung wurden dann die auf die Ossificationsgrenze senkrechten Durchmesser derjenigen Systeme genommen, die entweder genau in derselben Orthostiche lagen, oder von der ursprünglichen Orthostiche um Weniges entfernt standen. Hauptsächlich wurde darauf Rücksicht genommen, dass nur unverstümmelte Formen zur Messung verwendet wurden; dass hie und da doch andere unterliefen, konnte nicht verhindert werden; der so erzeugte Fehler ward jedoch dadurch leicht bemerkt, dass die gefundene Zahlenreihe nicht stetig wachsende oder abnehmende Differenzen darbot, sondern einen durchaus unregelmässigen Gang darbot.

Ich versuche nun die beobachteten Fälle tabellarisch zu ordnen. Jede Beobachtung enthält eine Reihe von Messungen; letztere finden sich in der zweiten Spalte der nachfolgenden Tabelle angegeben. Die dritte Spalte enthält den Werth des Wachsthumscoefficienten, welcher der Berechnung zu Grunde gelegt wurde. Die vierte Spalte fasst die aus der ersten Beobachtung durch Berechnung sich ergebenden Differenzen zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Glieder jeder Reihe. Die fünfte Spalte zeigt dann

die durch Berechnung sich ergebenden Glieder der Reihe; die sechste endlich den Unterschied zwischen Messung und Rechnung.

Die Art der Berechnung ist eine höchst einfache: Das erste Glied jeder Reihe wird durch eine genaue Beobachtung festgestellt. Es ist hierbei gleichgültig, an welcher Stelle man die Messung beginnt, wenn nur die Methode so genau ist, dass die Messung noch in der fünften Decimalstelle nicht abweicht. Da nämlich die erste Messung als Grundlage aller folgenden Berechnungen angenommen wird, so würde jede Abweichung um einige hunderttausendstel Zolle zuletzt schon eine namhafte Fehlergrösse abgeben. Die Genauigkeit braucht um so geringer zu sein, je mehrere Glieder der Reihe bereits bekannt sind, doch soll sie die oben angegebene Fehlergrösse nie übersteigen. Aus der Formel $S = mM + 1$, welche auch so ausgedrückt werden kann: $M = \frac{S-1}{m}$ ergibt sich folgende Methode: Man vermindere die gefundene Grösse des ganzen ersten Systems um die Einheit und theile den Rest entweder durch 3 oder durch 4 je nachdem der Wachsthumscoefficient zu 3 oder 2 angenommen wird. Wie gross er anzunehmen ist, wird sich nach ein Paar Versuchen leicht ergeben. Denn so gefundenen Quotienten addire man zur Zahl S und erhält sonach das zweite Glied der Reihe. Mit diesem Gliede verfährt man wieder in derselben Weise. Man vermindert es um die Einheit, theilt den Rest abermals durch 2 oder 3, addirt den Quotienten wieder zu dem durch Rechnung gefundenen zweiten Gliede der Reihe und erhält dadurch das dritte Glied, mit dem man ebenso verfährt. Dasselbe geschieht mit jedem folgenden Gliede. Hiernach wird die Einrichtung der nachfolgenden Tabelle verständlich sein.

Tabelle XI.

Zahl der Beobachtung	Gefundene Länge S	Werth von n	Berechnete Differenz je 2er nächster Glieder	Berechnete Länge S'	Unterschied von S und S'
595	6.0	3	1.66..		
	7.5	3	2.22...	7.66..	+ 0.166..
	10.0	.	2.22	9.88	- 0.11 ..
	12.0	3	3.7	12.11...	+ 0.11 ..
	16.0	.	3.7	15.8	- 0.2
	19.5	.		19.5	0

Zahl der Beobachtung	Gefundene Länge S'	Werth von n	Berechnete Differenz je 2er nächster Glieder	Berechnete Länge S'	Untersucht von S und S'
596	6.0	3	1.66..	..	..
	fehlt	3	2.22	7.66..	..
	9.88	3	2.96	9.88..	0
	fehlt	3	3.95	12.85	..
	17.0	3	5.266 ..	16.80	— 0.2
	22.5	3	7.0233..	22.07	— 0.4
	30.0	3	9.3633..	29.09	— 0.9
	39.5	.	..	38.46	— 1.14
597	5.5	3	1.5	..	..
	7.0	3	2.0	7.0	0
	fehlt	3	2.66..	9.0	..
	fehlt	3	4.44..	11.66..	..
	fehlt	.	4.44	14.33	..
	18.0	.	4.44	18.77..	+ 0.77
	22.0	.	4.44	23.22..	+ 1.22
	28.5	3	8.88	27.66	— 0.84
	fehlt	3	11.51	35.55	..
	49.0	3	12.02	47.07	— 1.9
	60.0	.	..	59.09	— 0.9
598	2.5	4	0.375	..	..
	2.8	4	0.469	2.875	+ 0.075
	3.349	4	0.586	3.344	— 0.005
	3.936	4	0.732	3.930	— 0.006
	4.695	4	0.916	4.663	— 0.032
	5.5	.	0.916	5.579	+ 0.079
	fehlt	4	1.374	6.495	..
	fehlt	4	1.717	7.869	..
	9.5	4	2.146	9.586	+ 0.086
	fehlt	4	2.683	11.732	..
	15.0	.	..	14.415	— 0.58
599	22.0	2	5.25	..	..
	27.0	.	5.25	27.25	+ 0.25
	fehlt	.	5.25	32.5	..
	38.0	2	9.19	37.75	— 0.25
	fehlt	2	11.48	46.94	..
	59.0	2	14.35	58.42	— 0.58
	71.0	.	14.35	72.77	+ 1.77
	fehlt	.	14.35	87.12	..
	103.0	.	..	101.47	— 1.53
600	6.5	3	1.83	..	..
	8.0	3	2.288	7.833	— 0.266..
	10.2	.	2.288	10.121	— 0.079
	fehlt	.	2.288	12.409	..
	14.5	3	2.288	14.697	+ 0.197
	fehlt	.	5.328	16.985	..
	22.0	.	5.328	22.313	+ 0.313
	27.0	.	..	27.641	+ 0.641
601	7.0	3	2.0	..	..
	9.0	3	2.66..	9.0	0
	fehlt	.	2.66	11.66	..
	14.0	3	4.44	14.33	+ 0.33

Zahl der Beobachtungen	Gefundene Länge S'	Werth von n	Berechnete Differenz je 2er nächster Glieder	Berechnete Länge S'	Unterschied von S und S'
601	18.75	3	4.44	18.77	+ 0.02
	22.8	.	7.4	23.21	- 0.60
	29.0	.	7.4	30.61	+ 1.61
	fehlt	3	12.33	38.01	
	52.0	.		50.33	- 1.67
602	4.5	3	1.166		
	6.0	3	1.88	5.66	- 0.34
	fehlt	3	2.183	7.55	
	fehlt	.	2.183	9.733	
	12.0	3	3.638	11.916	- 0.083
	16.0	3	4.851	15.554	- 0.446
	20.0	3	6.468	20.405	+ 0.405
	fehlt	3	8.624	26.873	
	36.0	.	8.624	35.497	- 0.502
	fehlt	3	14.373	44.121	
	59.0	.	14.371	58.494	- 0.506
	fehlt	3	23.955	72.865	
	97.0	.		96.821	- 0.079
603	7.5	3	2.166		
	9.4	3	2.722	9.166	- 0.233
	12.0	3	3.629	11.888	- 0.11
	16.5	.	3.629	15.517	- 0.98
	19.0	3	6.048	19.146	+ 0.146
	26.0	3	8.064	25.194	- 0.8
	33.0	.	8.064	33.258	+ 0.258
	40.0	.		41.323	+ 0.322
604	8.0	3	2.33		
	fehlt	.	2.33	10.33	
	12.0	3	3.88	12.66	+ 0.66
	fehlt	.	3.88	16.55	
	19.5	.	3.88	20.44	+ 1.44
	23.0	3	7.77	24.32	+ 1.33
	32.0	3	10.36	32.09	0
	45.0	3	13.81	42.45	- 2.55
	56.0	.	13.81	56.26	+ 0.26
	71.0	.		70.07	- 0.93
605	16.0	3	5.0		
	21.0	3	6.66	21.0	0
	fehlt	.	6.66	27.66	
	35.0	3	11.11	34.33	- 0.66
	fehlt	3	14.81	45.44	
	62.0	3	19.78	60.35	- 1.65
	fehlt	.		80.13	
	100.0	.		99.91	- 0.9
606	9.0	2	2.0		
	11.0	2	2.5	11.0	0
	fehlt	2	3.12	13.5	
	17.0	2	3.9	16.62	- 0.38
	21.0	2	4.88	20.52	- 0.48
	24.5	2	6.60	25.40	- 0.1
	fehlt	2	7.75	32.0	

Zahl der Beobachtung	Gefundene Länge S'	Werth von n	Berechnete Differenz je 2er nächster Glieder	Berechnete Länge S'	Unterschied von S und S'
606	40.0	.	7.75	39.75	— 0.25
	48.0	2	11.62	47.5	— 0.5
	58.0	.		59.12	+ 1.12
607	23.5	2	5.625		
	fehlt	2	7.031	29.125	
	35.5	2	8.789	36.156	+ 1.156
	44.0	2	10.986	44.945	+ 0.945
	fehlt	2	11.232	45.931	
	58.0	2	14.040	57.163	— 0.837
	73.0	.	14.04	71.203	— 1.797
	fehlt	.		85.243	
	100.0	.		99.283	— 0.717
608	4.0	3	1.0		
	5.0	3	1.33..	5.0	
	6.0	3	1.77	6.33	+ 0.33..
	8.0	.	1.77	8.11	+ 0.11..
	10.0	3	2.96	9.88	— 0.12
	12.5	3	3.94	12.84	+ 0.34
	17.0	3	5.26	16.78	— 0.22
	fehlt	3	7.01	22.04	
	fehlt	3	9.35	29.05	
	38.5	3	9.35	38.40	— 0.1
	fehlt	3	9.35	47.75	
	fehlt	.	19.03	57.10	
	74.0	.		76.13	+ 2.13
609	12.5	3	3.83		
	16.5	3	5.11	16.33	— 0.17
	22.0	2	5.11	21.44	— 0.56
	fehlt	2	6.387	26.55	
	33.0	.		32.93	— 0.07
610	8.0	2	3.5		
	11.5	2	2.625	11.5	0
	fehlt	2	3.281	14.125	
	fehlt	.	3.281	17.406	
	20.0	2	4.922	20.687	+ 0.687
	25.0	.		25.609	+ 0.609
611	6.0	3	1.66		
	7.2	3	2.22	7.66	+ 0.46
	9.5	3	2.96	9.88	+ 0.38
	13.0	3	3.95	12.84	— 0.16
	fehlt	3	5.26	16.79	
	23.0	.		22.05	+ 0.95

Wenn mehrere hintereinanderliegende Glieder derselben Reihe dieselbe Länge haben, so wurde dies in obiger Tabelle nicht angegeben. Der öfters vorkommende Ausdruck „fehlt“ bedeutet hier bloss, dass die entsprechenden Glieder nicht in derselben Orthostiche gefunden wurden, womit aber nicht gesagt sein soll,

dass sie nicht durch Glieder der nächstanliegenden Orthostiche zu ergänzen gewesen wären.

Nimmt man als die Länge der kleinsten Combination die Zahl 4 an, (was sich von der Wirklichkeit in der That nicht entfernen dürfte) und setzt man als grösste Länge die Zahl 100, (welche übrigens nicht die grösste Zahl ist, die eine Combination erreichen kann), so nehmen die Combinationen gegen die Ossificationsgrenze hin um das 25fache zu. Dagegen ist die Entwicklung in die Breite in bei weitem engere Grenzen eingeschlossen. Nimmt man als Breite einer Combination 5.5 (wenn die Länge derselben wie oben 4 beträgt, Länge und Breite hier immer auf die Längen- und Querachse der ganzen Extremität z. B. bezogen) so erreicht diese Combination höchstens eine Breite von 50, in den meisten Fällen wohl nur 25 und weniger, und die Breite beträgt in den gewöhnlichen Fällen nur den 4. bis 5. Theil der Länge. Es wäre sehr interessant, diesen Gegenstand in der Art einer Untersuchung zu unterziehen, dass man diese numerischen Verhältnisse der Combinationsreihen erstens vergleiche mit den beiden Hauptdimensionen (Längen- und Querrichtung) eines Knochens und dann eben auch vergleichende Masse bei verschiedenen Individuen nähme. Ich habe vielen Grund zu vermuthen, dass so wie die grossen Dimensionen der Knochen verschieden sind, dies auch bei den kleinsten Dimensionen der Combinationsreihen in gleicher Weise sich wiederholt, in der Art, dass ein Knochen, dessen langer Durchmesser den Querdurchmesser um das Doppelte übertrifft auch Combinationsreihen zeigt, bei welchen die letzten Glieder einen doppelt so langen Längen- als Querdurchmesser besitzen. So würden sich nicht nur die einzelnen Abtheilungen desselben Knochens und die einzelnen Knochen desselben Individuums, sondern auch die Knochen verschiedener Individuen durch ihre mikroskopischen Dimensionen ebensowohl wie durch ihre makroskopischen Grössenverhältnisse wohl von einander unterscheiden. So wie sich hier das Grosse im Kleinen wiederholen würde, so würde auch vielleicht jede Art des Wachsens eines Knochens (eine rege Förderung des Wachsens oder träge Entwicklung) sich im Kleinsten wiedergeben. Ich habe natürlich hierüber bloss Vermuthungen, ein genaues Detailstudium wäre äusserst mühevoll und zeitrau-

bend, in den Augen Vieler vielleicht sogar unnütz, doch würde es freilich nicht die Praxis, aber sicher die Wissenschaft mit neuen Angaben bereichern, welche einen Blick eröffneten auf das weite Feld harmonischer Entwicklung, welche die Natur bei allen ihren Schöpfungen im Grossen wie im Kleinen auf die bewunderungswürdigste Weise einhält.

Pathologische Neubildungen befolgen im Allgemeinen dieselben Entwicklungsgesetze, doch weicht die Structur in denselben von der normalen bedeutend ab.

Grösse, Lage und Form dieser mikroskopischen Theile, die Art wie die einzelnen Theile an einandergepasst erscheinen, sind nun für die Architektonik der Knochen von durchgreifend massgebendem Einflusse, und selbst an den ältesten Knochen, z. B. 80jähriger Personen finden sich deutliche Spuren. Man betrachte beliebige Längenschnitte durch Röhrenknochen und man wird in der spongiösen Substanz besonders gegen die natürlichen Begrenzungsflächen der Knochen hin, die Knochenfasern in einer solch regelmässigen, an denselben Knochen immer wiederkehrenden Anordnung finden, dass aus der blossen Besichtigung des Netzwerkes es möglich wird, anzugeben, an welche Stelle das fragliche Knochenpräparat gehören wird. Man betrachte den senkrechten Durchschnitt eines Schienbeins, welcher in der Richtung von vor- nach rückwärts geführt, und gerade durch die *Tuberositas Tibiæ* gelegt wurde. Man sieht hier von der inneren Fläche der Rinde fortwährend sich Knochenfasern ablösen, die unter flachen Krümmungen dem Gelenkende zueilen, sich dort nach Art gothischer Bogen spitzwinkelig verbinden, oder selbst sich durchkreuzend ein äusserst zierliches und regelmässiges Gitterwerk darstellen. In diesem erscheinen die Maschen um so mehr in die Länge gezogen, je näher sie der Stelle liegen, wo die Fasern von der Rindensubstanz abbiegen, dagegen nähern sich die Netzeräume mehr der quadratischen Form an jenen Stellen, die weiter gegen die Längachse des Knochens zu liegen oder dem Gelenkende des Knochens sich nähern. Ingleichen sind die Knochenfasern dort am dicksten, wo sie der Rinde zunächst anliegen und verästeln sich gegen die Achse des Knochens in das feinfädigste Netzwerk einer zierlich durchbrochenen Arbeit. Man sieht ferner, dass die Bogen um so schlanker erscheinen, je mehr die Stelle,

wo sich die Knochenfasern ablösen, der Mitte der Längsachse des Knochens sich zuwendet; während flache Bogen in der unmittelbaren Nähe der Gelenks-Enden sich vorfinden. Ein Längen-Durchschnitt eines Schenkelknochens (Fig. 72) der von Aussen nach Innen durch den grossen Trochanten geführt worden ist, zeigt bis in die Gegend des Halses eine fast ähnliche Zeichnung; am Halse und Kopfe sind wieder andere Faser- und Netzvertheilungen und ebenso grenzt sich das System der Trochanteren gut von der übrigen Knochenmasse ab. So sind an anderen Theilen (z. B. an den Phalangen) wieder andere Zeichnungen. Es laufen z. B. die Knochenfäden der Gelenksfläche parallel und werden durch andere Fäden geschnitten, welche in der Richtung der Normale dieser Gelenksfläche verlaufen. Dann finden sich die zartesten Knochenfasern, nur in der Nähe dieser Gelenksfläche, hier kommen auch die feinsten Netzzräume vor. Weiter davon entfernt besitzen auch die Maschenräume eine andere Form u. s. w.

Abgesehen von dem allgemeinen, wissenschaftlichen Interesse besitzen solche Untersuchungen zunächst noch einen praktisch diagnostischen Werth. Die Anordnung der Knochenfasern bestimmt nämlich bei vorkommenden Zerstörungen der Knochenmasse durch Geschwüre zum Theile die Form des Geschwüres. Diese kann daher bei den verschiedenartigsten Processen eine ganz gleichartige sein, wenn nur die Intensität der Processe eine gleich grosse und eben so der Sitz des Geschwüres in ganz gleichgebauten Theilen sich findet. Ein genaues Studium dieser Architectonik (so nenne ich die Art der Zusammenfügung der Knochenfasern zum Unterschiede von der Textur, als dem mikroskopischen Baue) ist daher einerseits in so ferne von Nutzen, als man im Stande ist, aus ihr auf die Formen gewisser Producte im Voraus zu schliessen, gewährt aber auch andererseits den mehr negativen Vortheil, dass man lernt, die Formen pathologischer Producte und Veränderungen auf ihren wahren Werth zurückzuführen und nicht blindlings der Ansicht zu huldigen, nach welcher aus der Form Rückschlüsse auf das Wesen eines Krankheitsprocesses gestattet wären.

Die Architectonik pathologisch-neugebildeter Knochentheile ist, wie oben bemerkt, eine von der physiologischen ganz abweichende, übrigens höchst interessante; in dieses jedoch einzugehen liegt nicht gegenwärtig in meinem Plane.

Ich habe mir nur noch zum Schlusse die Aufgabe gestellt in einem oder dem andern Beispiele zu zeigen, wie die Architektonik eines Knochens eine Folge der eben erörterten Entwicklungsgesetze ist. Zu diesem Behufe gehe ich von einigen Voraussetzungen über die Entwicklung des Knochens aus, welche nur den Zweck haben sollen, die ziemlich verwickelten Naturvorgänge von einer einfacheren Seite her zu zeigen; dass übrigens diese Voraussetzungen nicht aus der Luft gegriffen sind, sondern zum Theile auf Erfahrung beruhen, wird jeder leicht finden, der sich mit dem Gegenstande beschäftigt.

Diese Voraussetzungen nun sind folgende: Es wird angenommen, dass, wenn man von der Ossificationsgrenze ausgeht und in der Richtung der Längenchse den Knorpel gegen dessen Oberfläche hin verfolgt, jedes untere Combinationssystem sich mit dem seitlich überliegenden verbindet. In der Natur wird dieser Annahme in so fern nicht immer genügt, dass sich zuweilen zwei gerade, über oder neben einander befindliche Combinationen vereinen.

Ferner wird angenommen, dass diese nach auf- und seitwärts erfolgende Verschmelzung nur in einer Richtung geschehe, so dass jedes untere Combinationssystem nur an seiner inneren oder nur an seiner äusseren Seite mit der äusseren oder inneren Seite des überliegenden Combinationssystemes verbindet (71. Fig.), die aus der Verschmelzung der Combinationen entstandene Linie sonach keinerlei Beugungspunkte darbietet und überhaupt nach einer bestimmten Richtung verlaufe. Von dieser Voraussetzung weicht die Natur in so ferne ab, als oft ein unterhalb liegendes Combinationssystem mit zweien überliegenden Systemen rechts und links sich verbindet (wodurch Verästelungen der Markcanäle entstehen. (Fig. 71.)

Eine andere Annahme ist die, dass alle hinter einander liegenden Combinationssysteme eine gleiche Breite bei ungleicher Länge besitzen. Von dieser Annahme, die bloss zur deutlicheren Darstellung des Gesetzes gemacht wurde, weicht die Natur allerdings bedeutender ab, indem die tiefer liegenden Combinationssysteme häufig das Doppelte der Breite der am höchsten liegenden Systeme besitzen. Da jedoch jedes Combinationssystem, je tiefer nach abwärts eine bedeutend grössere Breitenzunahme darbietet, so wird durch die obige Annahme zwar die Gestalt der Verschmelzungs-

curve eine andere als in der Natur und zwar meist steilere, was aber für unsere Darstellung, bei der es sich eben nur um das Ersichtlichmachen der Linien im Allgemeinen handelt, ganz ohne Belang ist.

Endlich wird noch vorausgesetzt, dass alle aufeinanderfolgenden seitlich übereinander liegenden Combinationssysteme immer nur an homologen Punkten sich an einander knüpfen, so dass z. B. jede tieferliegende Combination nur bis zur Hälfte oder bis zu $\frac{3}{4}$ Vierteln der Länge der überliegenden Combination heranreicht. Die Natur bindet sich durchaus nicht streng an dieses Gesetz und so entstehen wohl manche Unterschiede zwischen der Thatsache und der Voraussetzung, welche jedoch für die allgemeinen Verhältnisse völlig bedeutungslos sind.

Ich wende mich nun zu meinem Gegenstande. Man entwerfe sich ein rechtwinkliches Coordinatensystem, wie in der 71. Figur, wo AX die Abscissenachse, AY die Ordinatenachse darstellen soll. Verzeichnet man sich in dieses System die der Reihe nach sich folgenden Combinationen, indem man deren Breite auf die Abscissenachse, deren Länge auf die Ordinatenachse aufträgt, so erhält man Curven, von verschiedener Krümmung; die Gestalt dieser Curven hängt ab: 1. von dem Verhältnisse der Länge zur Breite der einzelnen Combinationen; 2. von der Stelle, an der sich die einzelnen Combinationssysteme an einander schliessen; 3. von dem Werthe des Vergrößerungscoefficienten der Reihe.

Das Verhältniss der Länge zur Breite jeder einzelnen Combination kann entweder ein constantes sein, (was seltener vorzukommen scheint) oder es ist ein veränderliches und zwar entweder dadurch, dass bloss die Länge wächst, die Breite der Combinationen aber unverändert bleibt. (Diesen Fall habe ich in der Figur 71 beispielsweise gewählt) oder dadurch, dass zwar Länge und Breite, beide jedoch nach anderen Propositionen wachsen (dies ist das Mittel, dessen sich die Natur bedient).

In Betreff der Stelle, an der sich die einzelnen Combinationen an einander schliessen gibt es gleichfalls viele Verschiedenheiten. Es erscheinen z. B. entweder 2 sich berührende Combinationen bloss um die Hälfte ihrer Länge oder um $\frac{1}{4}$ derselben verschoben. Ich habe beide Fälle durch eine schematische Zeichnung wiedergegeben versucht. (Fig. 71 MN und OP .)

Die Grösse des Wachsthumscoefficienten n bedingt die mehr weniger rasche Grössenzunahme jeder einzelnen Combination und mithin auch die Steilheit der Curve. Für den Coefficienten $n=3$ ist die Curve im Allgemeinen steiler als für $n=2$ doch hält sich die Natur nicht immer streng an einen einzigen Werth von n . Ich habe in allen Zeichnungen für n die Zahl 3 angenommen.

Um nun die Curve des ganzen Combinationssystems oder die Curve der Knochenfasern zu verzeichnen, verfährt man in folgender Weise: Man trägt das letzte Glied der Combinationsreihe der Länge nach auf die erste Ordinate auf, indem man vom Durchschnittspunkte beider Coordinaten beginnt. In der Figur beträgt diese Länge z. B. 67.0 der angenommenen Maaseinheiten. Die Breite dieser ersten Combination wird in der Mitte der Länge gemessen (in unserm Falle beträgt sie 8.0 für die erste und alle folgenden Combinationen). Indem man nun die Breite als Querachse der Combination aufträgt, erhält man durch Verbindung der Endpunkte der Achsen die Figur der ersten Combination: eine rautenartige Gestalt.

Der unterste Endpunkt a der langen Achse der 2. Combination beginnt in der Hälfte der Höhe der ersten (MN) oder im untern Drittheil der langen Achse der 1. Combination (OP) und ist um die ganze Breite einer Combination von der langen Achse der 1. Combination entfernt. Von diesem Endpunkte zieht man die eine Linie parallel der obersten rechten Seite der unteren Combination bis in die Höhe des oberen Endpunktes b der langen Achse der 1. Combination. Eine zweite Linie vom Punkte a geht in die Mitte des Raumes zwischen der ersten und zweiten Ordinate und hört in der Höhe d auf, welche der Mitte der langen Achse ac der zweiten Combination (Fig. MN) oder dem untern Drittheile derselben (OP) entspricht. Zieht man noch die Linien bc und dann cd so ist die Figur der zweiten Combination abgeschlossen. Die lange Achse der dritten Combination beginnt in der Höhe des Punktes d . Sie läuft als dritte Ordinate in demselben Abstände von der zweiten Ordinate (lange Achse der zweiten Combination), wie diese von der ersten oder der Ordinaten-Axe AY ; die eine Seite der dritten Combination wird parallel der Linie cd bis in die Höhe des Punktes c geführt, die zweite Linie df geht in die Mitte des Raumes zwischen der dritten und vierten Ordinate und hört in der Mitte der Höhe der

langen Achse *de* auf. Zieht man dann noch die Linien *ec* und *ef*, so ist die dritte Combinationsfigur beendet. In der zweiten Curve *OP* ist der Endpunkt *f* in der Höhe des unteren Drittheils der langen Achse *ed* gelegen; die übrigen Linien werden in der oben angegebenen Weise geführt. Führt man in ähnlicher Weise fort, indem man die Breiten der Combinationen unverändert lässt, dagegen die langen Achsen der Combinationen in einem bestimmten Gesetze um so mehr vermindert je weiter nach oben die Combinationen zu liegen kommen, so bilden die an einander gefügten Systeme Curven von verschiedener Form. Die Grössenabnahme der Achsen ist aber nach den oben angeführten Gesetzen zu ermitteln, und um gleich von den in der 11. Tabelle gefundenen Werthen Gebrauch zu machen, habe ich die Figuren *MN* und *OP* nach der 608. Beobachtung der angeführten Tabelle gezeichnet. Liegt demnach die Achse der ersten Combination in der zweiten Ordinate, beträgt ferner der senkrechte Abstand der parallelen Achsen je zweier benachbarter Combinationen 8, so erhalten wir zur Bestimmung der Curve *MN*, welche durch die oberen Endpunkte der langen Achsen gelegt werden kann, folgende Werthe:

Abscissen.	Ordinaten.
8	76·0
16	95·0
24	114·5
32	128·5
40	138·5
48	146·0
56	152·0
64	156·5
72	160·0
80	163·0
88	165·0
96	167·0
nur für die Figur <i>OP</i>	
8	76·0
16	82·0
24	92·0
32	98·0
40	101·0
48	103·0
56	105·0
64	107·0
72	108·0
80	109·0 u. s. w.

Jene Curve ist aber die steilere, diese die flachere und man sieht leicht, dass man die Curve beliebig steil oder flach machen kann, je nachdem man die Achsen zweier seitlich über einander liegender Combinationen um einen beliebigen Theil ihrer Länge gegen einander verschiebt. Flache Curven wird man erhalten, wenn man die Combinationen z. B. so an einander reiht, dass jede überliegende im untern Fünftel oder Viertel der langen Achse der unterliegenden Combination beginnt; will man steile Curven erzeugen, so lege man den unteren Anfangspunkt jeder überliegenden Combination in die Hälfte, das obere Drittheil oder Viertheil der unteren Combination und dies consequent bei allen Combinationen. Die Form jeder Combination hängt von ihren Durchmessern, dann aber auch von der Form der unmittelbar vorausgehenden Combination ab.

Bleiben die Formen sämtlicher Combinationen einander ähnlich und ist mithin in allen das Verhältniss der Länge zur Breite eine Constante, so ist die aus der Combinationsreihe hervorgehende Curve von einem unendlich grossen Halbmesser, d. h. eine gerade Linie. (Fig. 71 *QR*.)

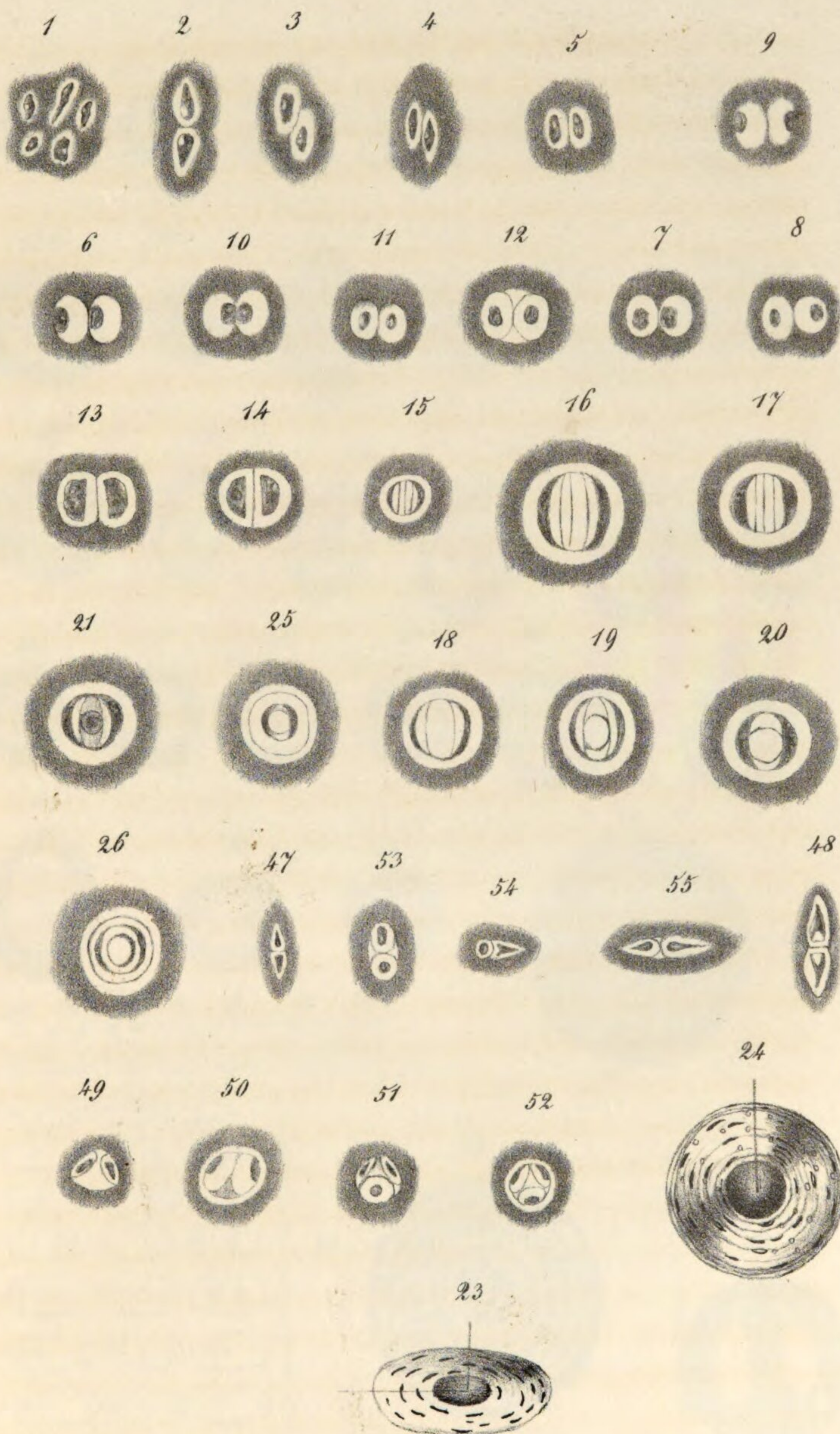
Dies die Haupttypen der Knochenfasern. Durch ein einfaches Mittel bereitet sich hier die Natur ein reichhaltiges Material, das sie mit meisterhafter Kunst anzuordnen und zu benützen sich anlegen sein lässt. Denn nicht ohne Zweck scheint die Architektonik in verschiedenen Knochen verschieden zu sein, und die Anwendung bald des Spitzbogens, bald des elliptischen Bogens, der Kreislinie, die Benützung bald senkrechter Strebepfeiler, bald schräger Widerlager hat gewiss noch eine andere Bedeutung als die das Auge des Anatomen durch zierliches Schnitzwerk zu erfreuen. —

Wie auch mit den Jahren die Dichtigkeit oder die Porosität der Knochen zunehmen möge, die urwüchsige Architektonik geht nicht verloren. Die Räume werden grösser, die Fasern dünner, aber Lauf und Anordnung derselben bleiben die gleichen. Nur wenn krankhafte Zustände neue Knochenmasse ergiessen, wird das frühere Fachwerk entweder ganz zerstört oder mannigfach weggedrängt, zertrümmert und unregelmässig verworfen — doch hiervon ein Andermal. —

So hat uns diese Untersuchung mehrere interessante That-sachen vorgeführt, eine ganze Reihe von Veränderungen, welche die Gewebselemente beim allmählichen Wachstume darbieten, wurde

durch Zahlenangaben auf das Strengste bewiesen und dem Gebiete blosser Vermuthungen für immer entzogen. Der Uebergang mikroskopischer Zellen in makroskopische Räume; die Benützung dieser Räume, ihre verschiedene Bedeutung für die an und in ihnen entstehenden neuen Schöpfungen sind zu bestbegründeten Thatsachen geworden. Kern, Zelle erscheinen nicht mehr als streng von einander Geschiedenes; der Kern wird allmählich zur Zelle, die nach denselben Gesetzen wie jede andere Zelle wieder einen Kern entwickelt, die Zelle wird theilweise zum weiten Markraum, der sich allmählich mit neuen eigenthümlichen Elementen füllt, theilweise liefert sie das Material der festen Wände der Knochenmasse. Kein blosses Vergrössern, ein fortwährendes Schaffen neuer Theile tritt uns überall entgegen; neue Formen entstehen mit dem Typus bereits vorhandener Gestalten aber nicht auf dem Umwege der embryonalen Bildung; neue Knochenfasern, neue Knochenkörper bilden sich nach denselben räumlichen Gesetzen wie die bereits vorhandenen, aber sie bedürfen der vorausgegangenen Zellenbildung nicht, sondern reihen sich unmittelbar an das bereits Gegebene. Ueber allen Bildungen steht das kategorische Gesetz; der grösste Markraum, wie die kleinste Zelle sind demselben unterthan, jeder Raum ist bestimmt, jedem Theile sein Platz angewiesen, seine Rolle zugetheilt in dem wunderbaren organischen Baue.

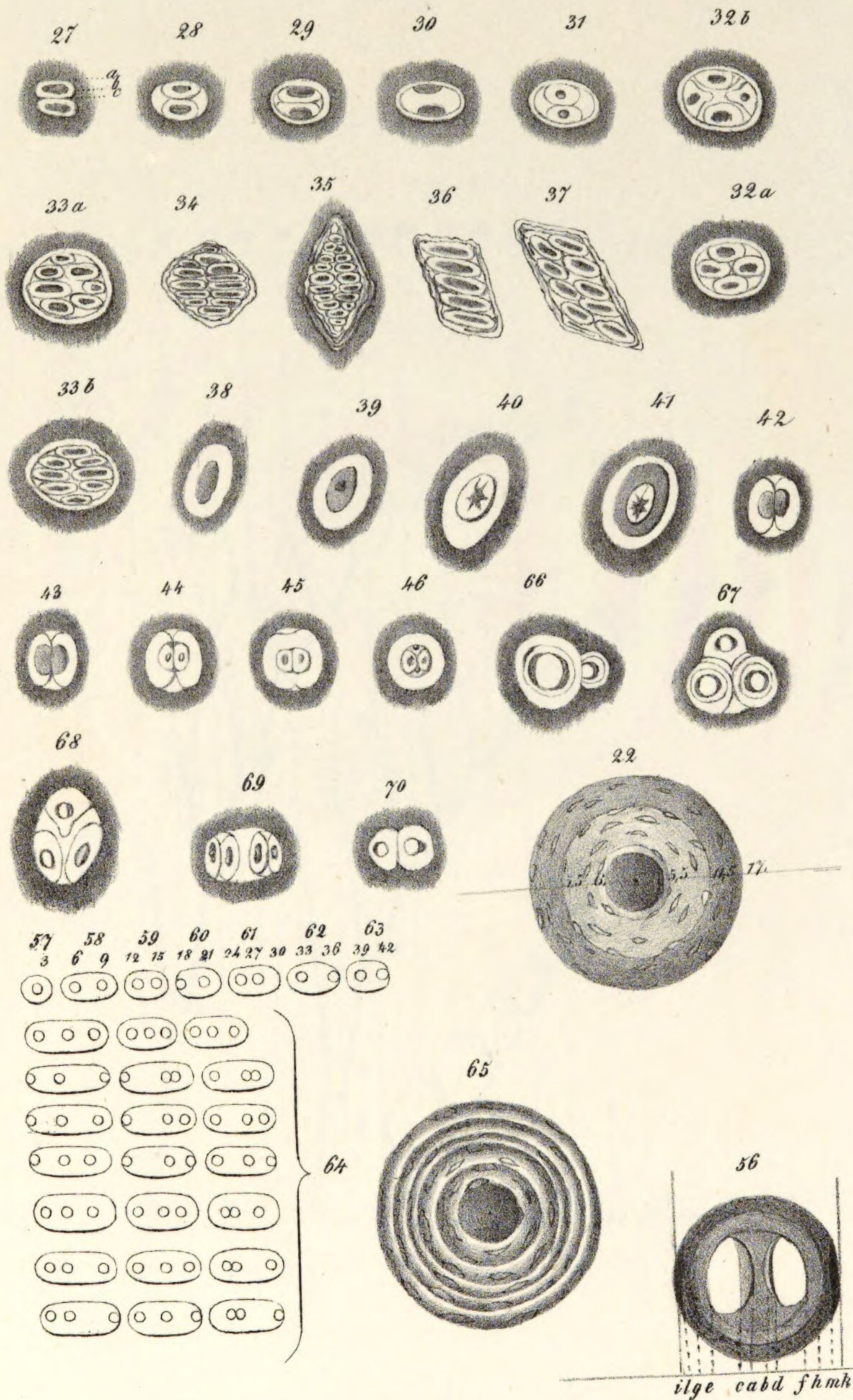
Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, dass auch bei anderen Gebilden, wie Röhren, Drüsenschläuchen, Cysten ähnliche Untersuchungen nicht nur möglich seien, sondern in der That werden aufgenommen werden müssen, soll anders die Histologie, wie es ihre Aufgabe auch ist, zu einer streng wissenschaftlichen organischen Formenlehre sich gestalten. Ungleich schwieriger aber ist die Aufgabe wegen der Zartheit und Vergänglichkeit dieser Gegenstände, vielleicht, dass es mir gelingt auch diese Hindernisse zu besiegen und die bereits angefangene Arbeit zu Ende zu führen. In Bälde hoffe ich neue Beiträge zur Entwicklungs-Geschichte vorlegen zu können.



Sitzungsbericht der math. naturw. Classe.

Jahrgang 1851.

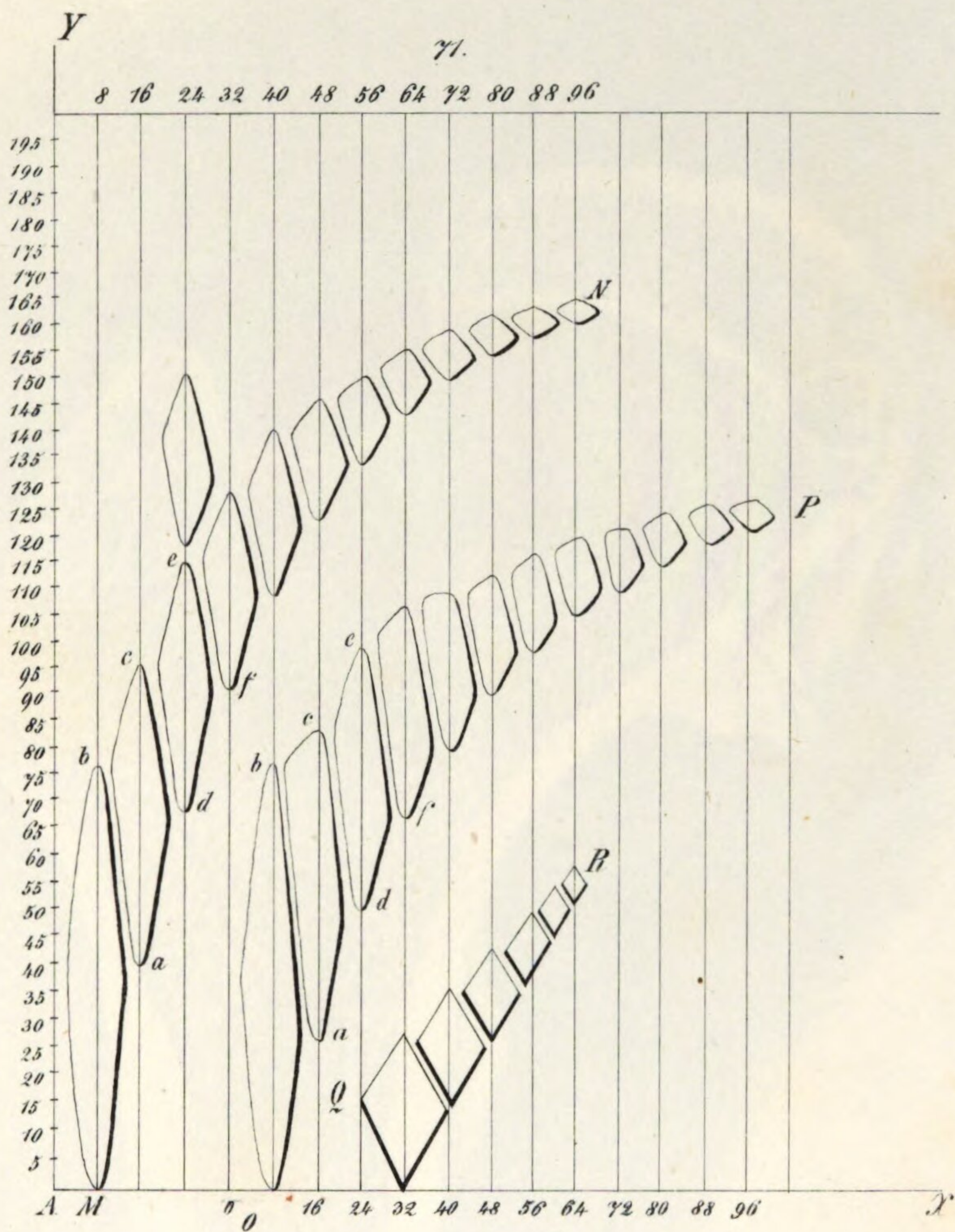
Lith. u. ged. in d. k. k. Hof. u. Staatsdruckerei.



Sitzungsbericht der math. naturm. Classe.

Jahrgang 1851.

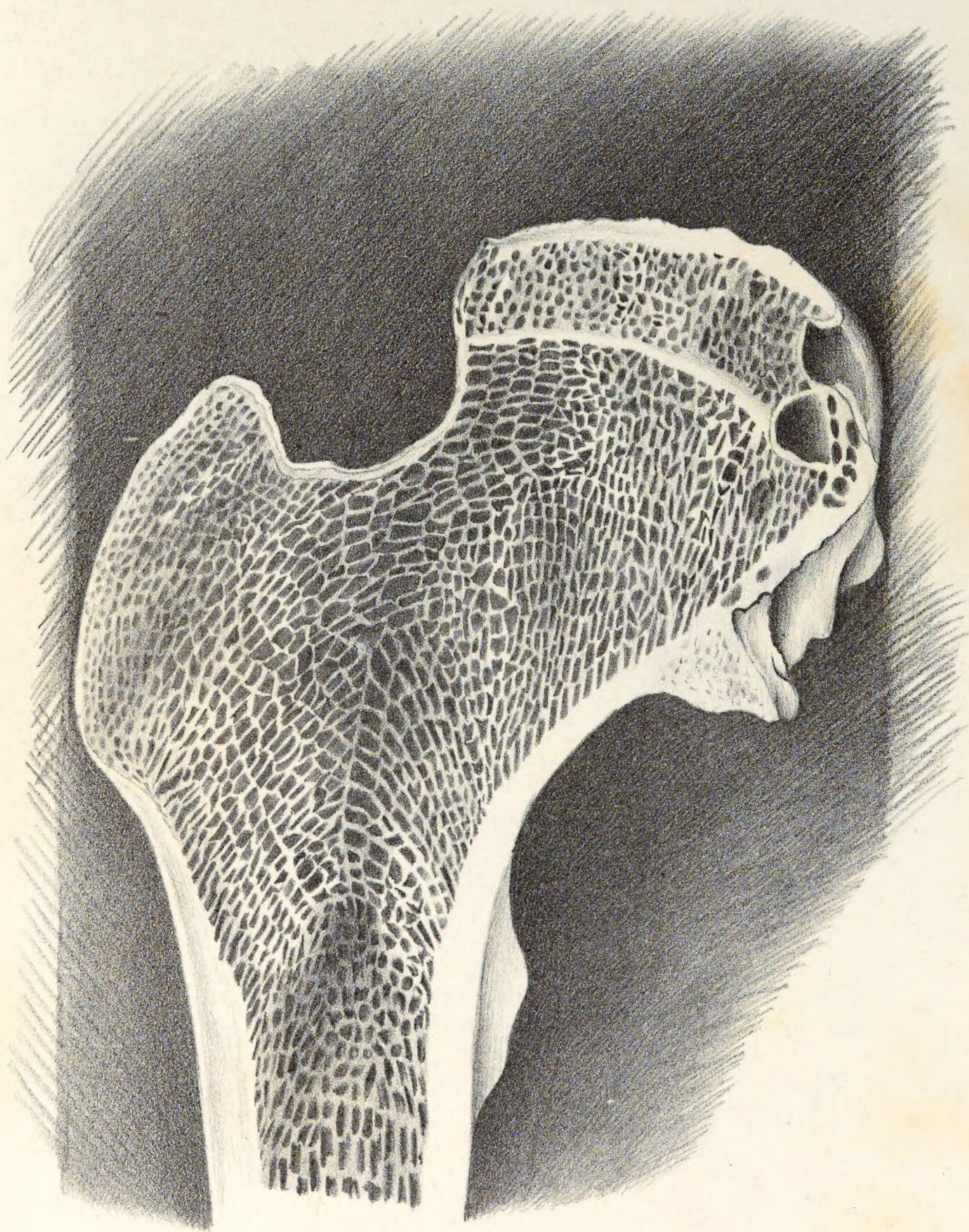
Lith. u. ged. in d. k. k. Hof- u. Staatsdruckerei.



Sitzungsbericht der math. naturw. Classe.

Jahrgang 1851.

Lith. u. gedr. in der k. k. Hof- u. Staatsdruckerei.



Sitzungsbericht der math. naturw. Classe.

Jahrgang 1851.

Lith. u. ged. in der k. k. Hof- u. Staatsdruckerei.

Engel, Jos.

Kleinere Abhandlungen meist physiologischen Inhalts in Separatabdrucken
der Sitzungsberichte der k. k. Akademie der Wissenschaften in Wien

Bd.: 8

Wien 1858

Anat. 155 rg-8

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10368246-6